

Application No. 10/060,944
Paper dated August 8, 2003
Reply to Office Action of May 9, 2003
Attorney Docket No. 116-012136



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application No. : 10/060,944
Applicant : Naoki KIKUCHI et al.
Title : METHOD OF INSPECTING HOLES USING CHARGED-
PARTICLE BEAM
Filed : January 30, 2002
Group Art Unit : 2881
Examiner : Zia R. Hashmi
Confirmation No. : 7271

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. § 119

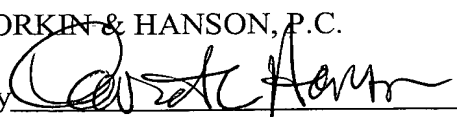
Sir:

Attached hereto is a certified copy of Japanese Patent Application No. 2001-021615 which corresponds to the above-identified United States patent application and which was filed in the Japanese Patent Office on January 30, 2001. The priority benefits provided by Section 119 of the Patent Act of 1952 are claimed for the above application.

Respectfully submitted,

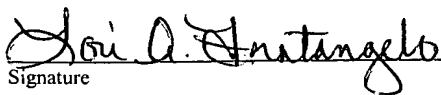
WEBB ZIESENHEIM LOGSDON
ORKIN & HANSON, P.C.

By


David C. Hanson, Reg. No. 23,024
Attorney for Applicants
700 Koppers Building
436 Seventh Avenue
Pittsburgh, PA 15219-1818
Telephone: 412-471-8815
Facsimile: 412-471-4094
Email: webblaw@webblaw.com

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first class mail in an envelope addressed to Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on August 8, 2003.

Lori A. Fratangelo
(Name of Person Mailing Paper)


Signature 08/08/03
Date

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 1月30日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-021615

[ST.10/C]:

[JP 2001-021615]

出 願 人

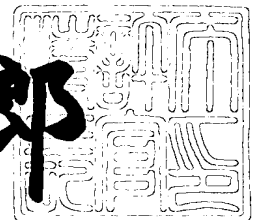
Applicant(s):

日本電子株式会社

2003年 6月 5日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3043615

【書類名】 特許願

【整理番号】 20000273

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/66

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都昭島市武蔵野三丁目 1 番 2 号 日本電子株式会社
内

 【氏名】 菊 地 真 樹

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都昭島市武蔵野三丁目 1 番 2 号 日本電子株式会社
内

 【氏名】 根 岸 勉

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都昭島市武蔵野三丁目 1 番 2 号 日本電子株式会社
内

 【氏名】 小 野 幸

【特許出願人】

 【識別番号】 000004271

 【氏名又は名称】 日本電子株式会社

 【代表者】 江藤 輝一

 【電話番号】 042-542-2165

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 008280

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被検査試料を成す基板上の被エッチング層に形成されたホールに荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビームの照射によって被検試料・接地間に流れる電流を検出し、予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とホールにおける基板中のエッチング深さの関係に基づいて、被検試料についてホールにおける基板のエッチング深さを知るようにした荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 2】 被検査試料を成す基板上の被エッチング層に形成されたホールに荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビームの照射によって被検試料・接地間に流れる電流を検出し、予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とホールにおける基板のエッチング深さの関係及び試料・接地間に流れる電流とホールにおける残存膜厚の関係に基づいて、被検試料のホールのエッチング状態を知るようにした荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 3】 予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とホールにおける基板のエッチング深さの関係におけるエッチング深さを複数のレベルに分けておき、検出された被検試料・接地間に流れる電流に基づいてエッチング深さのレベルを知るようにした請求項 1 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 4】 予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とホールにおける基板のエッチング深さの関係におけるエッチング深さ乃至試料・接地間に流れる電流とホールにおける残存膜厚の関係における残存膜厚を複数のレベルに分けておき、検出された被検試料・接地間に流れる電流に基づいてホールにおけるエッチングのレベルを知るようにした請求項 2 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法

【請求項 5】 前記各レベル内容は記号情報若しくは異なった色又は輝度で表示されるようにした請求項 3 若しくは 4 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 6】 前記記号情報は文字情報である請求項 5 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法

【請求項 7】 被検査試料を成す基板上の被エッチング層に形成されたホールに荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビームの照射によって被検試料・接地間に流れる電流を検出し、検出された被検試料・接地間に流れる電流と、予め標準試料を用いて求められているジャストエッチング状態時の試料・接地間電流とを比較し、同一の場合には被検試料のホールはジャストエッチング状態、前者が後者より大きい場合には被検試料のホールはオーバーエッチング状態、前者が後者より小さい場合にはアンダーエッチング状態と判断するようにした荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 8】 前記各判断内容を記号情報又は色情報又は輝度情報により区別して表示するようにした請求項 7 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 9】 前記記号情報は文字情報である請求項 8 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 10】 被検試料を成す基板上の被エッチング層に形成されたホールを含む領域に荷電粒子ビームを照射し、その際に被検試料・接地間に流れる電流を検出する工程を被検試料上に予め設定された複数の領域について繰り返し、検出された電流と、予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とホールにおける基板のエッチング深さの関係に基づいて、被検試料におけるホールの基板エッチング深さの分布データを得、得られた分布データに基づくマップを表示装置に表示させるようにした荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 11】 前記マップは記号情報若しくは異なった色又は輝度で表示される請求項 10 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 12】 前記記号情報は文字情報である請求項 11 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 13】 被検試料を成す基板上の被エッチング層に形成されたホールを含む領域に荷電粒子ビームを照射し、その際に被検試料・接地間に流れる電流を

検出する工程を被検試料上に予め設定された複数の領域について繰り返し、検出された電流と、予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とホールにおける基板のエッチング深さの関係及び試料・接地間に流れる電流とホールにおける残存膜厚の関係に基づいて、被検試料におけるホールのエッチング程度分布データを得、得られた分布データに基づくマップを表示装置に表示させるようにした荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 1 4】 前記マップは記号情報若しくは異なった色又は輝度で表示される請求項 1 3 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 1 5】 前記記号情報は文字情報である請求項 1 4 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 1 6】 前記各領域は、その中に複数のホールが存在するように大きさ及び形状が選定されていることを特徴とする請求項 1 0 乃至 1 5 の何れかに記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 1 7】 前記荷電粒子ビームが照射される領域は、前記試料上に形成される周期的パターン内の特定位置に選定されることを特徴とする請求項 1 0 乃至 1 5 の何れかに記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 1 8】 前記荷電粒子ビームは前記各領域において各領域の全面にわたって走査されると共に、その走査期間の間前記電流が積算され、その積算値が各領域の測定値として採用されることを特徴とする請求項 1 0 乃至 1 5 の何れかに記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 1 9】 前記荷電粒子ビームは前記各領域において各領域の全面にわたって走査されると共に、その走査期間の間の前記電流の平均値が各領域の測定値として採用されることを特徴とする請求項 1 0 乃至 1 5 の何れかに記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 2 0】 前記荷電粒子ビームは前記各領域において所定期間位置を固定して各領域の全面にわたって照射されると共に、その所定期間の間前記電流が積算され、その積算値が各領域の測定値として採用されることを特徴とする請求項 1 0 乃至 1 5 の何れかに記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 2 1】 前記荷電粒子ビームは前記各領域において所定期間位置を固定

して各領域の全面にわたって照射されると共に、その所定期間の間の前記電流の平均値が各領域の測定値として採用されることを特徴とする請求項 1 0 乃至 1 5 の何れかに記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 2 2】 ジャストエッチング状態の基準試料とエッチング状態未知の被検試料について、それぞれ、試料上のホールを含む領域に荷電粒子ビームを照射し、その際に試料・接地間に流れる電流を検出する工程を予め設定された複数の領域について繰り返すことにより試料上の電流分布データを求め、ジャストエッチング状態の基準試料と被検試料各々についての各領域に対する電流値の特性グラフを表示装置に並列表示させるようにした荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 2 3】 前記特性グラフは、検出された電流値が小さい順にプロットされている請求項 2 2 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【請求項 2 4】 前記特性グラフは、検出された電流値が大きい順にプロットされている請求項 2 2 記載の荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する分野】

本発明は、IC、LSI等の半導体デバイスの製造プロセスで形成されるコンタクトホール或いはビアホール等の形成状況（特に、エッチング状況）を把握するための荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

半導体デバイスは、例えば、シリコンウエハ（シリコン基板）の上に多層構造が形成されたものである。この多層構造において、特定の層と層の間には絶縁層が形成され、該絶縁層にコンタクトホール或いはビアホールが形成されている。そして、該コンタクトホール或いはビアホールに配線（導電性材料）を埋め込むことによって特定層間の電氣的接続を行うようにしている。尚、以後コンタクトホールを例に上げて説明する。

【0 0 0 3】

この様なコンタクトホールは、半導体デバイスを製造する過程で、絶縁層にレジストを塗布し、その上にコンタクトホールのパターンを露光し、その後、現像処理、エッチング処理を施すことによって形成される。

【 0 0 0 4 】

この様なコンタクトホールの形成において、図 1 の (a) に示す様に、絶縁層 A だけではなく伝導層 D の一部迄貫通してコンタクトホール C a が形成されたり (オーバーエッチングと称す) 、或いは、内部に絶縁層 A の一部が残ったコンタクトホール C b が形成される (アンダーエッチングと称す) と、最終的に製造された半導体デバイスは正常な動作をせず、欠陥品となる。

【 0 0 0 5 】

その為、コンタクトホールを形成した後、コンタクトホールの形成状態を検査することは、その後の製造プロセスを行うか否かの決定上重要となる。又、この検査によって得られたコンタクトホールの形成状態によって前の工程で行われた現像処理若しくはエッチング処理が適切であるか否かの判断を行うことが出来、且つコンタクトホールの形成プロセスの不良原因の解析を行うことも出来る。

【 0 0 0 6 】

さて、この様なコンタクトホールの形成状態の検査は、例えば、走査型電子顕微鏡 (S E M) の電子ビーム照射により非破壊で行われている。即ち、コンタクトホール上を電子ビームで走査し、該走査により検出された二次電子に基づいてコンタクトホールの二次電子像を表示装置の画面上に表示させ、該コンタクトホールの像を観察する事によりコンタクトホールの形成状態 (エッチング状態) の検査を行っている。

【 0 0 0 7 】

【 発明が解決しようとする課題 】

しかしながら、最近、半導体デバイスを成す素子の微細化、多層化に伴うコンタクトホールの径の縮小化、及び、深さの増大によりコンタクトホールのアスペクト比 (深さ / 径) が増大化し、その為に、ホール内部からの二次電子捕集効率が著しく低下している。その為、コンタクトホールの形成状態 (エッチング状態) を正確に把握することが困難になってきている。

【 0 0 0 8 】

又、場合によっては、コンタクトホールを中心軸を含む面に沿ってウエハを切断し、走査型電子顕微鏡で断面観察することも行われる。しかし、最近、ウエハサイズが大型化（例えば、直径が200mm～300mm）しており、走査型電子顕微鏡で観察するための断面作成が困難である。又、前述した様に、最近、コンタクトホールのアスペクト比（深さ／径）が増大化しており、コンタクトホールを中心軸を含む面に沿ってのウエハ切断自体が困難である。

【 0 0 0 9 】

最近、予め、底面に残存膜を有するコンタクトホールに電子ビームを照射した時、残存膜を通過して、開口部直下の支持基板へ流れる貫通電流値と、該開口部の底面に形成された擬似残存膜厚とを対応づけた対照テーブルを基準試料を使用して作成しておき、検査対象のコンタクトホールに電子ビームを照射して貫通電流値を測定し、前記貫通電流値に基づき、前記対照テーブルを参照して、該コンタクトホールの底面に残存した残存膜の膜厚を評価する方法が提案されている（特開2000-164715号参照）。しかし、この方法ではコンタクトホールの底面に残存した残存膜の膜厚を評価出来るだけである。

【 0 0 1 0 】

半導体デバイスの製造プロセスでコンタクトホールを形成する場合、エッチングが不足してコンタクトホール内に残存膜が残存する場合だけではなく、実際には、過剰のエッチングによりコンタクトホールが基板中に入り込んで形成される（基板がエッチングされる）場合もあり、後者の場合についてもコンタクトホールの検査に基づいてコンタクトホールの基板中への入り込み具合（コンタクトホールにおける基板のエッチング深さ）を把握する必要がある。

【 0 0 1 1 】

本発明は、この様な問題点を解決するためになされたもので、コンタクトホールの形成状況（エッチング状況）を把握することが出来る新規な荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】

本発明に基づく荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法は、被検査試料を成す基板上の被エッチング層に形成されたホールに荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビームの照射によって被検試料・接地間に流れる電流を検出し、予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とホールにおける基板中のエッチング深さの関係に基づいて、被検試料についてホールにおける基板のエッチング深さを知るようにしたことを特徴とする。

本発明に基づく荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法は、被検査試料を成す基板上の被エッチング層に形成されたホールに荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビームの照射によって被検試料・接地間に流れる電流を検出し、予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とホールにおける基板のエッチング深さの関係及び試料・接地間に流れる電流とホールにおける残存膜厚の関係に基づいて、被検試料のホールのエッチング状態を知るようにしたことを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

本発明に基づく荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法は、被検査試料を成す基板上の被エッチング層に形成されたホールに荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビームの照射によって被検試料・接地間に流れる電流を検出し、検出された被検試料・接地間に流れる電流と、予め標準試料を用いて求められているジャストエッチング状態時の試料・接地間電流とを比較し、同一の場合には被検試料のホールはジャストエッチング状態、前者が後者より大きい場合には被検試料のホールはオーバーエッチング状態、前者が後者より小さい場合にはアンダーエッチング状態と判断するようにしたことを特徴とする。

本発明に基づく荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法は、被検試料を成す基板上の被エッチング層に形成されたホールを含む領域に荷電粒子ビームを照射し、その際に被検試料・接地間に流れる電流を検出する工程を被検試料上に予め設定された複数の領域について繰り返し、検出された電流と、予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とホールにおける基板のエッチング深さの関係に基づいて、被検試料におけるホールの基板エッチング深さの分布データを得、得られた分布データに基づくマップを表示装置に表示させるように

したことを特徴とする。

本発明に基づく荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法は、被検試料を成す基板上の被エッチング層に形成されたホールを含む領域に荷電粒子ビームを照射し、その際に被検試料・接地間に流れる電流を検出する工程を被検試料上に予め設定された複数の領域について繰り返し、検出された電流と、予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とホールにおける基板のエッチング深さの関係及び試料・接地間に流れる電流とホールにおける残存膜厚の関係に基づいて、被検試料におけるホールのエッチング程度分布データを得、得られた分布データに基づくマップを表示装置に表示させるようにしたことを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

本発明に基づく荷電粒子ビームを用いたホールの検査方法は、ジャストエッチング状態の基準試料とエッチング状態未知の被検試料について、それぞれ、試料上のホールを含む領域に荷電粒子ビームを照射し、その際に試料・接地間に流れる電流を検出する工程を予め設定された複数の領域について繰り返すことにより試料上の電流分布データを求め、ジャストエッチング状態の基準試料と被検試料各々についての各領域に対する電流値の特性グラフを表示装置に並列表示させるようにしたことを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【 0 0 1 6 】

先ず、本発明の原理について説明する。

【 0 0 1 7 】

本発明に係る半導体デバイスの検査においては、コンタクトホールがオーバーエッチングの状態にあるのか、アンダーエッチングの状態にあるのが、或いは、ジャストエッチングの状態（コンタクトホールの底部に絶縁層が残っておらず、且つ、基板もエッチングされていない状態）にあるのか等のコンタクトホールの形成状態を、コンタクトホールの底部を通して半導体基板部（伝導層）に流れる

電流（吸収電流）を測ることに基づいて判断している。

【0018】

さて、コンタクトホールへの電子ビーム照射に基づく入射電子電流 I_a と吸収電子電流 I_b と反射電子（二次電子も含む）電流 I_c の間には、 $I_a = I_b + I_c$ 関係がある。

【0019】

ジャストエッチングの状態にあるコンタクトホール（図2の（c）の C_c ）の場合、コンタクトホール C_c の底面（伝導層 D の表面）に電子 E_B が入射すると、一部はコンタクトホール C_c の底面に吸収されるが、他のものは反射する。この反射電子の一部はコンタクトホール C_c の側面に達しても A は絶縁層であるので、吸収電流としては流れないため、電流計 G に検出される電流はコンタクトホール C_c の底面に吸収される吸収電子に基づくものである。

【0020】

又、オーバーエッチングの状態にあるコンタクトホール（図2の（a）の C_a ）の場合、コンタクトホール C_a の底面（伝導層 D の表面）に電子 E_B が入射すると、一部はコンタクトホール C_a の底面に吸収されるが、他は反射する。その反射電子の一部はコンタクトホール C_a の側面中、絶縁層に当たる部分に達しても吸収電流として流れないが、伝導層に当たる部分には一部吸収されるので、電流計 G に検出される電流はコンタクトホール C_a の底面と側面の伝導層に吸収される吸収電子に基づくもので、ジャストエッチングの状態にある場合に比べて大きい。尚、この大きさの違いの程度は、コンタクトホール C_a の側面中に占める伝導層部分の面積にほぼ対応している事を本発明者は確認した。

【0021】

この様に、各コンタクトホールの形成状態（基板のエッチング深さ）とコンタクトホールの底面と側面に表出している伝導層部分のトータル面積は対応関係があり、コンタクトホールの形成状態（基板のエッチング深さ）は検出される吸収電子に基づく電流（吸収電流）の大きさと密接な関係がある。そこで、予め、各種異なったオーバーエッチングの状態にあるコンタクトホールが形成されたシリコンウエハ（標準試料）を用意し、各々のコンタクトホールに電子ビームを照射

し、その都度、吸収電流を測定することにより、コンタクトホールにおける基板のエッチング深さに対する吸収電流値の関係を求めておき、被検試料のコンタクトホールに電子ビームを照射して吸収電流を測定してこの関係に照らし合わせれば、被検試料のコンタクトホールにおける基板のエッチング状態（エッチング深さ）が評価出来る。

【 0 0 2 2 】

図 3 は本発明の半導体デバイスの検査方法を実施するための検査装置の 1 概略例を示したものである。

【 0 0 2 3 】

図中 1 は電子銃で、該電子銃からの電子ビームはコンデンサレンズ 2 と対物レンズ 3 によりウエハの如き試料 4 上に適宜集束される。5 X, 5 Y は X 方向, Y 方向偏向コイルで、試料上を電子ビームで走査させるものである。前記試料 4 はステージ駆動機構 6 により移動制御されるステージ 7 上に載置されている。8, 9 はそれぞれ前記コンデンサレンズ 2, 対物レンズ 3 の励磁強度をコントロールする為のレンズ制御回路、10 は前記偏向コイル 5 X, 5 Y に偏向信号を供給する偏向制御回路である。前記ステージ駆動機構 6、レンズ制御回路 8, 9、偏向制御回路 10 にはそれぞれ A/D 変換器 11、12、13、14 を介して各種指令と各種データ処理を行う制御装置 15 からステージ移動指令、レンズ制御指令、偏向制御指令が送られる。

【 0 0 2 4 】

16 は電流増幅器で、試料 4 を流れる電流（吸収電流）を検出して増幅するものである。該電流増幅器からの出力は A/D 変換器 17 を介して前記制御装置 15 に送られる。18 A, 18 B は 2 メモリ、19 は陰極線管の如き表示装置である。

【 0 0 2 5 】

この様な装置において、予め、メモリ 18 B に、標準試料を使用して測定したコンタクトホールがジャストエッチングの状態にある時の吸収電流値データ（図 4 における I_{A_i} ）を保存しておく。

【 0 0 2 6 】

そして、電子銃 1 からの電子ビームをコンデンサレンズ 2 と対物レンズ 3 により適宜集束させ、偏向コイル 5 X, 5 Y により試料 4 上の所定のコンタクトホール上に電子ビームを照射する。この時、試料 4 に流れる吸収電流が電流増幅器に検出され増幅される。該吸収電流信号は A D 変換器 1 7 を介して制御装置 1 5 に送られる。該制御装置 1 5 はこの吸収電流信号データを一旦メモリ 1 8 A に保存する。

【 0 0 2 7 】

制御装置 1 5 はメモリ 1 8 B からジャストエッチングの状態にある時の吸収電流値データ $I_{A i}$ を、メモリ 1 8 A から今測定された吸収電流信号データをそれぞれ読み出し、測定された吸収電流信号データが吸収電流値データ $I_{A i}$ と同一なら、測定したコンタクトホールはジャストエッチング状態にある、大きい場合にはオーバーエッチング状態にある、小さい場合にはアンダーエッチング状態にあると判定し、表示装置 1 9 にその判定内容を表示させる（例えば、ジャストエッチング状態なら○、オーバーエッチング状態なら×、アンダーエッチング状態なら△の表示を行う、或いは、ジャストエッチング状態なら緑色、オーバーエッチング状態なら赤色、アンダーエッチング状態なら青色の表示を行う）。尚、ジャストエッチング状態の判定は、 $I_{A i} \pm \Delta I$ (ΔI は微小許容幅) の範囲内に吸収電流が入った場合に行う。

【 0 0 2 8 】

以上のようにして、1 つのコンタクトホールについて、測定と、その判定結果の表示を行うことができる。同じ測定作業を、試料 4 上の任意位置のコンタクトホールについて行うことにより、各コンタクトホールにおけるエッチング状態を判定することができる。

【 0 0 2 9 】

上記は、ジャストエッチング状態の吸収電流値 $I_{A i}$ をメモリ 1 8 B に格納し、この $I_{A i}$ に基づいて、オーバーエッチングか、ジャストエッチングか、アンダーエッチングかという判定を単に行う例であるが、以下に説明する例では、オーバーエッチングの程度すなわち基板のエッチング深さの程度を知ることができる。また、この例では、アンダーエッチングの場合に、アンダーエッチングの程

度すなわちコンタクトホール内の残存膜厚の値も知ることができるようにしており、これにより、エッチングの状態がオーバーかアンダーかを問わずどのような場合であっても、その程度まで含めて正しく評価することができる。

【 0 0 3 0 】

まず、標準試料を使用し、コンタクトホールにおける基板のエッチング深さに対する吸収電流値 I の関係(図 4 の α)及び、コンタクトホール内の残存膜厚と吸収電流値 I の関係(図 4 の β)をそれぞれ求め、メモリ 1 8 B に図 4 に示されているような吸収電流値-エッチング深さ及び残存膜厚値変換用参照テーブルとして格納する。

【 0 0 3 1 】

そして、被検試料 4 について、所望の 1 つのコンタクトホールに電子ビームを照射し、被検試料から得られた吸収電流信号データをメモリ 1 8 A に格納する。

【 0 0 3 2 】

測定後、制御装置 1 5 は、メモリ 1 8 A に格納された吸収電流信号値をメモリ 1 8 B に格納されている参照テーブルと比較し、吸収電流信号値に対応したエッチング深さの値又は残存膜厚値を求める。求めたエッチング深さの値又は残存膜厚値の表示に当たっては、エッチングの程度を、例えば色若しくは数字等の記号で表示する様にしても良い。例えば、図 5 に示す様に、オーバーエッチングの領域 α に当たる基板のエッチング深さの範囲を例えば 3 つ範囲に分け、エッチング深さがジャストエッチング時の 0 より大きく S_1 以下の範囲を黄色、 S_1 より大きく S_2 以下の範囲を桃色、 S_2 より大きい範囲を赤色で表す様にする。又、アンダーエッチングの領域 β に当たる残存膜厚の範囲を例えば 2 つの範囲に分け、残存膜厚がジャストエッチング時の 0 から S_3 以下の範囲を青色、 S_3 より大きい範囲を紫色で表すようにする。更に、ジャストエッチング時を緑色で表せるようにしておき、被検試料のエッチング程度を、測定した吸収電流値が入る範囲の色で表すようにしても良い。又、例えば、ジャストエッチング領域のレベルを 0 とし、オーバーエッチング領域 3 つの範囲をそれぞれ低い順に + 1, + 2, + 3 で、アンダーエッチング領域の 2 つの範囲をそれぞれ高い順に - 1, - 2 で表せるようにしておき、被検試料のエッチング程度を、測定した吸収電流値が入る範囲

のレベル数値で表すようにしても良い。尚、エッチング深さ $X \text{ nm}$ 、或いは残存膜厚 $Y \text{ nm}$ の様に直接、数値で表示しても良い。

所で、1つのシリコンウエハ全面には極めて多数のコンタクトホールが存在し、1個1個のコンタクトホールを検査すると莫大な時間が掛かるので、実際には、ウエハ全面を適当に、例えば、7つの部分に仮想的に分け、各部分に存在する1個のコンタクトホールを代表させて検査している。しかし、この様な検査であると、検査したコンタクトホールの検査結果が該コンタクトホール近辺に存在する多数のコンタクトホールのエッチング状況や現像状況を代表しているかどうかは定かではない。又、この様に少数(7つ)のコンタクトホールの検査による結果だけでは、前工程の現像処理若しくはエッチング処理の判断を適切に行うことは難しい。コンタクトホールは1個1個加工されるものではなく、バッチ処理によって半導体基板全体に一度に多数個加工されるので、例えば、コンタクトホールを開けるためのプラズマエッチング装置のプラズマの強度分布や、基板内におけるレジスト現像液の化学反応具合のバラツキによって各コンタクトホールの貫通の具合が左右される。従って、1個1個のコンタクトホールではなく、基板全体に亘るコンタクトホールの形成状態を判断することは極めて意義のあることである。

【0033】

そこで、本発明の他の例として、多数のコンタクトホールが形成された半導体デバイス用基板において、コンタクトホールが存在する複数の小領域に荷電粒子ビームを順次照射し、その都度基板と接地間に流れる吸収電流を測定して、基板全体の各小領域に対する吸収電流信号を得、予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とコンタクトホールのエッチング程度の関係に基づいて(該関係に照らし合わせて)、基板全体のエッチング程度分布を得ることにより、基板全面に亘るコンタクトホールの形成状態を把握することができる。尚、小領域の中に、複数のコンタクトホールが存在するように小領域の大きさ及び位置を選定する事が望ましい。この様に、複数(多数)のコンタクトホールを有する小領域全体に荷電粒子ビームを照射して吸収電流を測定すると、1つのコンタクトホールに照射する場合に比べ、吸収電流信号量は大きくなり、検出に当た

ってのノイズや速度レスポンスの問題が改善される。又、電子ビームを照射するコンタクトホールが1つで、しかも、その1つのコンタクトホールの形成状態が周囲の多くのコンタクトホールの状態と異なる特異的なものである場合、その1つのコンタクトホールの測定結果で周囲の多数のコンタクトホールの形成状態を代表することは好ましくない。その点、小領域にコンタクトホールが複数有り、その複数のホールに亘って荷電粒子ビームを照射して得た結果は、平均的なものとなり、仮にその中に特異的なホールがあってもその影響を著しく緩和することが出来、その領域の周囲のコンタクトホールの形成状態を代表する測定結果としてより好ましいものである。

【 0 0 3 4 】

そこで、例えば、先ず、試料の表面の有効面（半導体チップが形成される面）4 E 全面における吸収電流測定領域を設定する。例えば、図 6 に示す様に、縦、横それぞれ等間隔に 1 3 本の格子線を直交させた格子を試料表面の有効面 4 E に仮想的に掛け、各格子線の交点を中心とする領域が測定領域に設定される。各測定領域には常に同一個数、同一配列のコンタクトホールが存在することが望ましいので、各格子点が試料上に繰り返し並べて形成される同一パターン（チップパターン）内の同一部位（例えば、チップパターンの中心の矩形状領域）が来るように格子線の間隔及び位置が選定される。図 6 においては測定領域が設定されたチップパターンが R 1, R 2, R 3, R 4, R 5, …… , R 1 4 5 で示されている。尚、実際には電子ビームが照射される領域は、図 7 に示す様に、電子ビームの偏向歪みが許容される走査幅（約 1 mm）を考慮して、1 mm × 1 mm ~ 0. 1 mm × 0. 1 mm の小領域 Q である。この小領域内には一定個数のコンタクトホールが形成されている。図 7 において、G x m, G x n, G y m, G y n は格子線、R a, R b, R c, R d は前記 R 1, R 2, R 3, R 4, R 5, …… , R 1 4 5 に対応するチップパターン領域である。該各小領域 Q への電子ビーム照射は次の様に行われる。

【 0 0 3 5 】

レンズ制御回路 8, 9 からの励磁信号により、コンデンサレンズ 2 と対物レンズ 3 の励磁をコントロールして、試料上で電子ビームが細く絞られて照射される

ように電子ビームの絞り具合を調整しておく。そして、各領域 R 1, R 2, R 3, R 4, R 5, …… , R 1 4 5 内の小領域 Q の中心が順次電子ビーム光軸中心（電子ビームの走査中心）上に来るように、ステージ駆動機構 6 によりステージ 7 を間欠的に移動させる。この時、各小領域 Q が電子ビーム光軸中心位置で停止している期間に、各小領域 Q が細く絞られた電子ビームで全面に亘って 1 回又は複数回走査されるようにする。尚、この例では、電子ビームを細く絞り、各小領域 Q 内を走査するようにしたが、電子ビームの断面の形状を試料上の各小領域 Q の形状に対応したものにして各小領域全面に所定時間（連続的に）照射するようにしたも良い。

【 0 0 3 6 】

この各小領域 Q が電子ビームで走査されている間（或いは、小領域全面に電子ビームが照射されている間）、試料 4 に流れる吸収電流は電流増幅器 1 6 にて増幅され、走査期間に亘って積分（積算）される。この様に検出された吸収電流（積分値）は、小領域 Q 内の複数のコンタクトホールの平均的な出来具合（形成状態）を表す情報を有している。

【 0 0 3 7 】

尚、コンタクトホール内にレジストが残ったり、エッチングされなかった絶縁膜が残ったりした時、これらに電子ビームが照射されてチャージアップの原因となるが、この様なチャージアップは吸収電流が検出不可能になるほどの影響を与えない。しかし、他の原因でのチャージアップ（コンタクトホール以外の所に電子ビームが照射されることに依るチャージアップ）で吸収電流測定が不可能になったりすることがある。そこで、試料 4 上に電子ビームを照射した時に試料 4 から発生する二次電子を二次電子検出器（図示しなかったが、この装置には通常設けられている）で検出し、該検出に基づいて二次電子像を表示装置（前記表示装置 1 5 であっても良いし、別に設けた表示装置でも良い）に表示させ、その像から試料のチャージアップによる程度を見て電子ビーム照射電流値を決めるようにしている。この様にすれば、試料へのチャージアップが最小限に抑えられ、後述する表示装置 1 5 に表示される分布像などへのノイズが軽減される。

【 0 0 3 8 】

この様にして、各チップパターン R 1, R 2, R 3, R 4, R 5, …… , R 1 4 5 内の小領域 Q から得られた吸収電流信号は順次 A D 変換器 1 7 を介して制御装置 1 5 に送られる。制御装置 1 5 は、各小領域 Q から得られた合計 1 4 5 個の吸収電流信号データを各小領域の座標（位置）と対応づけて第 1 メモリ 1 8 A に記憶させる。

【 0 0 3 9 】

尚、予め、標準試料を使用し、被検試料の小領域 Q と同一条件（素材同一、コンタクトホール数同一、測定条件同一）で測定した吸収電流値に対する基板のエッチング深さ及び残存膜圧の関係に基づき、前記図 5 に示す様に、吸収電流の領域を 6 つの範囲に分け、それぞれの範囲に 1 つのランクを与え、各ランクに対応した 6 種の色又は輝度を設定し、吸収電流値と設定した色又は輝度（図 5 ）を第 2 メモリ 1 8 B に格納しておく。

【 0 0 4 0 】

次に、該制御装置 1 5 は、メモリ 1 8 A から試料全面に亘る 1 4 5 個の吸収電流強度値データを読み出し、前記第 2 メモリ 1 8 B から読み出された吸収電流値と設定した色又は輝度（図 5 ）の関係に照らし合わせて、表示装置 1 9 の表示画面にエッチング状態マップ（エッチング程度マップ）を表示する。

【 0 0 4 1 】

この際、表示画面に、例えば、1 3 本×1 3 本の格子線から成る格子を表示し、各格子点位置に格子間隔を考慮した適宜な大きさのドットを表示する。このドットの色又は輝度を各格子点位置における測定した吸収電流強度値に対するエッチング程度ランクに応じた色若しくは輝度で表示すれば、試料全面に亘るエッチング程度の分布が 1 4 5 個のドットにより表示されることになる。尚、各格子点の 1 4 5 ドットによる表示では表示される画質が粗いものとなることが避けられないが、補完法などを用いて 1 4 5 ドット間に表示点を増加させれば、よりきめの細かいマップを表示することが出来る。図 8 はこのデータを用い、補完法を用いて各格子点の間の多数の点のデータを求めて表示した例を示しており、ウエハ試料全体のエッチング程度分布が 6 種類の色又は輝度表示装置 1 9 の表示画面に表示されている。尚、この様な表示方法は等高線図表示方法と呼ばれている。

【 0 0 4 2 】

この様に、前記例では、ウエハの如き試料の有効面全体に亘り予め設定されたコンタクトホールが存在する複数の小領域に電子ビームを照射して吸収電流値を測定して試料全体のエッチング程度分布を求めているので、試料全体及び部分毎のコンタクトホールのエッチング状況などの形成状況の傾向が確実の判断できる。

【 0 0 4 3 】

又、試料全体のエッチング程度分布を等高線図的に表示することにより、試料の各部位のエッチング状況の傾向の違いなどが明確になり、エッチング処理の判断が適切に行うことが出来る。又、どこの部分のコンタクトホールを不良解析すべきかの判断にも役立つ。

【 0 0 4 4 】

尚、前記例では、格子線の交点にあるチップパターンの1つの小領域に電子ビーム照射して吸収電流を測定するようにしたが、複数の小領域に電子ビームを照射して吸収電流を測定するようにしても良い。

【 0 0 4 5 】

又、各小領域Qを複数回走査した場合、各回で得られた積分値を平均したもの(平均値)をその小領域の測定値として採用しても良い。

【 0 0 4 6 】

又、前記例では試料の表面の有効面における吸収電流測定個所を設定する際、縦、横それぞれ13本の格子線を直交させた格子を試料の表面に仮想的に掛けたが、格子線の数はこの数に限定されない。格子線の数を増やして測定領域の数を増やせば相対的に試料全体のエッチング程度分布の精度が上がるが、その分測定回数が増え、これ以下に数を減らせば相対的に分布の精度が低下するが、その分測定回数が減る。

【 0 0 4 7 】

尚、被検試料とジャストエッチング状態にある基準試料それぞれについて、前記例の様に、試料上のホールを含む領域に荷電粒子ビームを照射し、その際に試料・接地間に流れる電流を検出する工程を予め設定された複数の領域について繰

り返し、両試料上の電流分布データを求め、基準試料とジャストエッチング状態の被検試料各々についての各領域に対する電流値の特性グラフを表示装置 19 に、例えば図 9 のように並列表示させるようにしても良い。図 9 は、各領域の測定値を表す点を検出された電流値が小さい順に左側から並べてプロットした特性グラフで、P がジャストエッチング状態の基準試料の特性グラフ、Q が被検試料の特性グラフで、これらを比較することにより、被検試料のエッチング状態を判断する事が出来る。この場合、被検試料の特性グラフ Q がジャストエッチング状態の基準試料の特性グラフ P に対して、格差が小さい程、被検試料のエッチング状態が良好である。

【 0 0 4 8 】

尚、前記例では電子ビームを照射するようにしたが、イオンビームを照射するようにしても良い。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 コンタクトホールのエッチングの状態の例を示したものである。

【図 2】 コンタクトホールの底面に電子ビームを照射した場合の様子を示したものである。

【図 3】 本発明の半導体デバイスの検査方法を実施するための検査装置の 1 概略例を示したものである。

【図 4】 吸収電流値とコンタクトホールにおける基板のエッチング深さ及び残存膜厚との関係を示す図である。

【図 5】 図 4 の関係において、吸収電流の領域をエッチングの程度に応じてランク分けした例を示す図である。

【図 6】 ウエハ試料表面の有効面上の吸収電流測定領域を示す図である。

【図 7】 図 2 の一部拡大図である。

【図 8】 試料全体のエッチング程度分布を等高線図的に表示装置 19 の表示画面にグラフィック表示させた例を示す図である。

【図 9】 ジャストエッチング状態の基準試料の特性グラフと被検試料の特性グラフを示す。

【符号の説明】

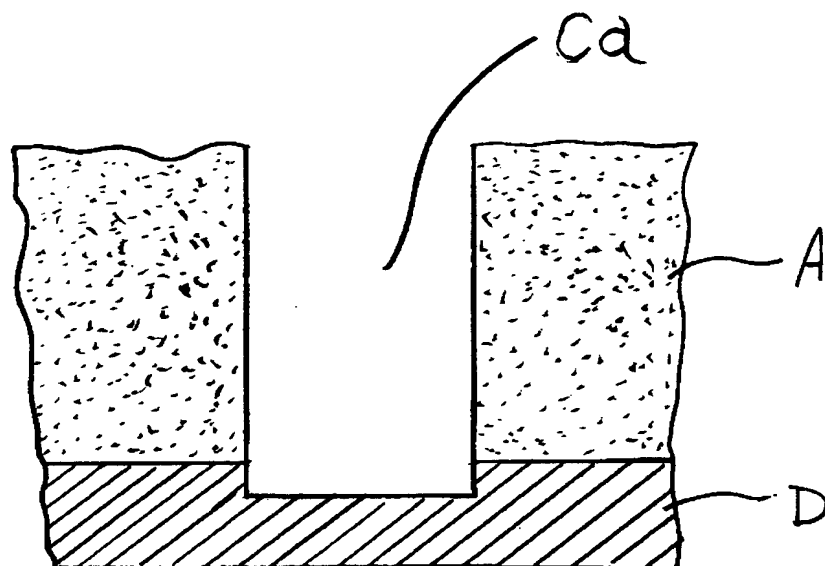
- A…絶縁層
- D…伝導層
- C…コンタクトホール
- 1…電子銃
- 2…コンデンサレンズ
- 3…対物レンズ
- 4…試料
- 5 X, 5 Y…偏向コイル
- 6…ステージ駆動機構
- 7…ステージ
- 8, 9…レンズ制御回路
- 1 0…偏向制御回路
- 1 1, 1 2, 1 3, 1 4…D A変換器
- 1 5…制御装置
- 1 6…電流増幅器
- 1 7…A D変換器
- 1 8 A, 1 8 B…メモリ
- 1 9…陰極線管

【書類名】

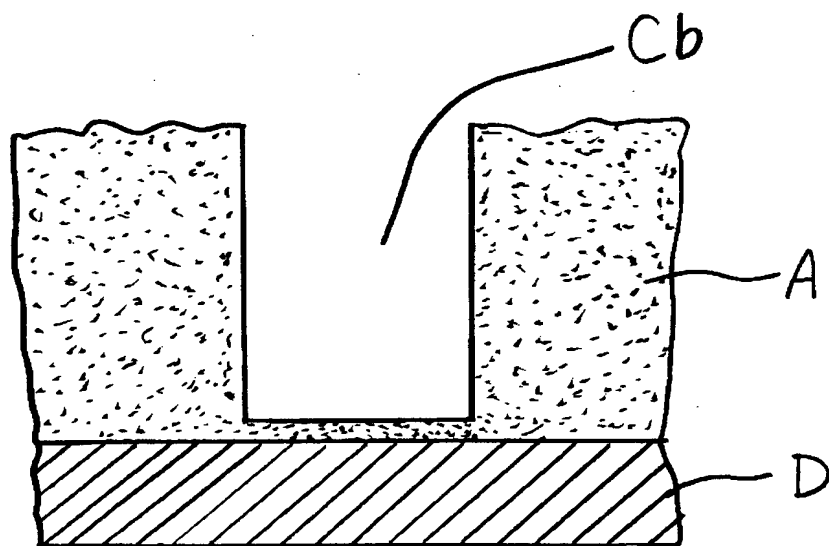
図面

【図1】

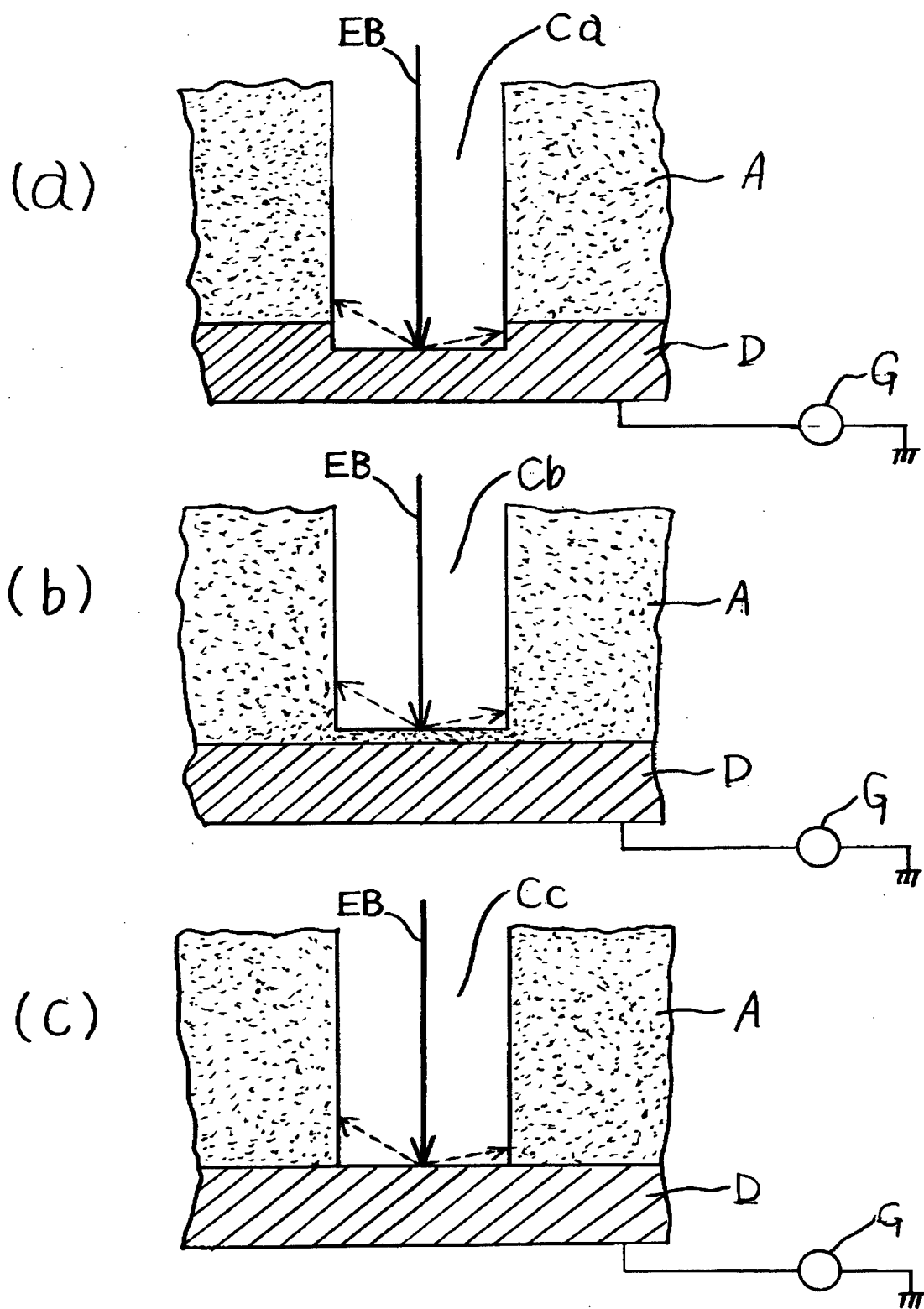
(d)



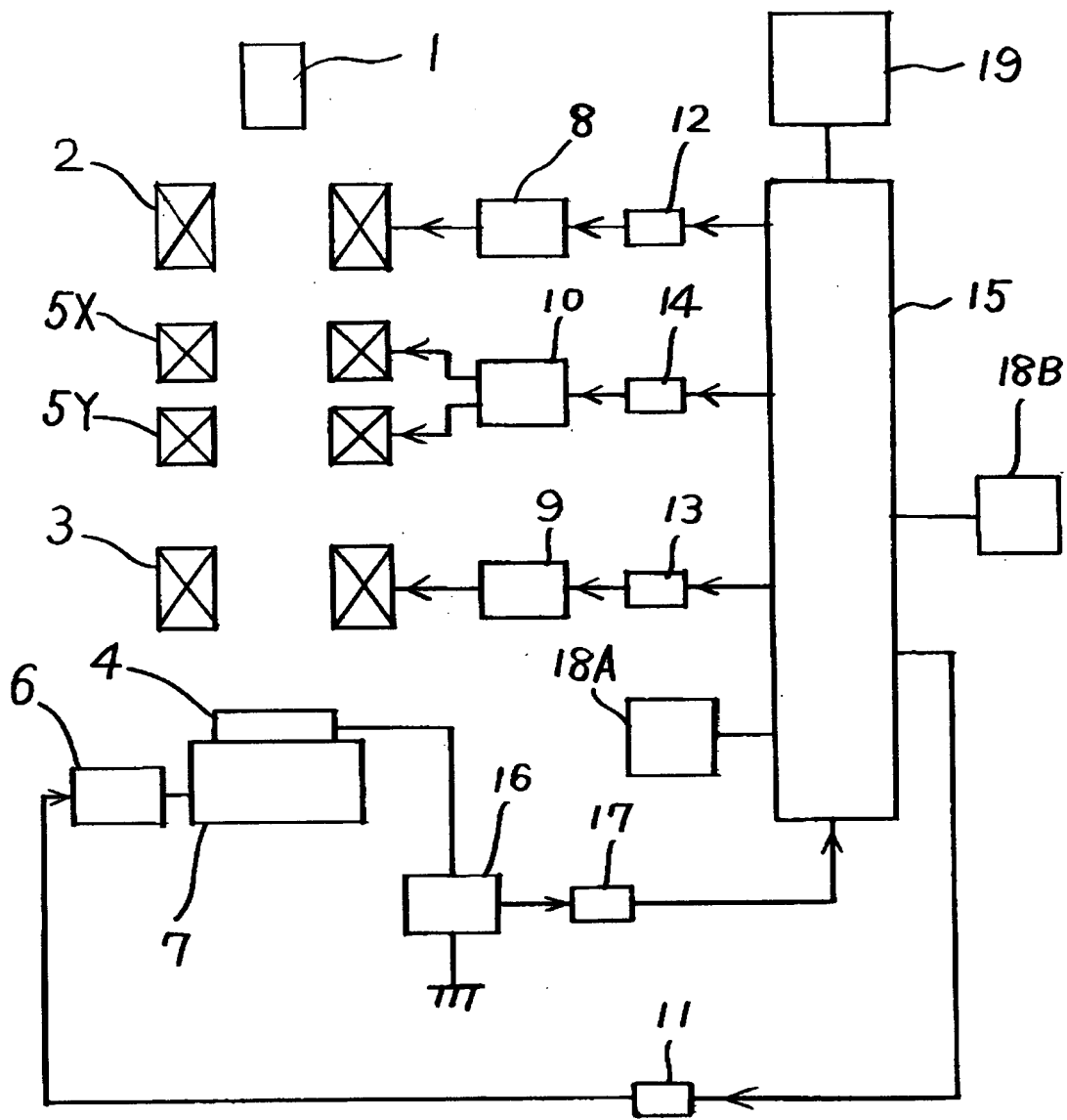
(b)



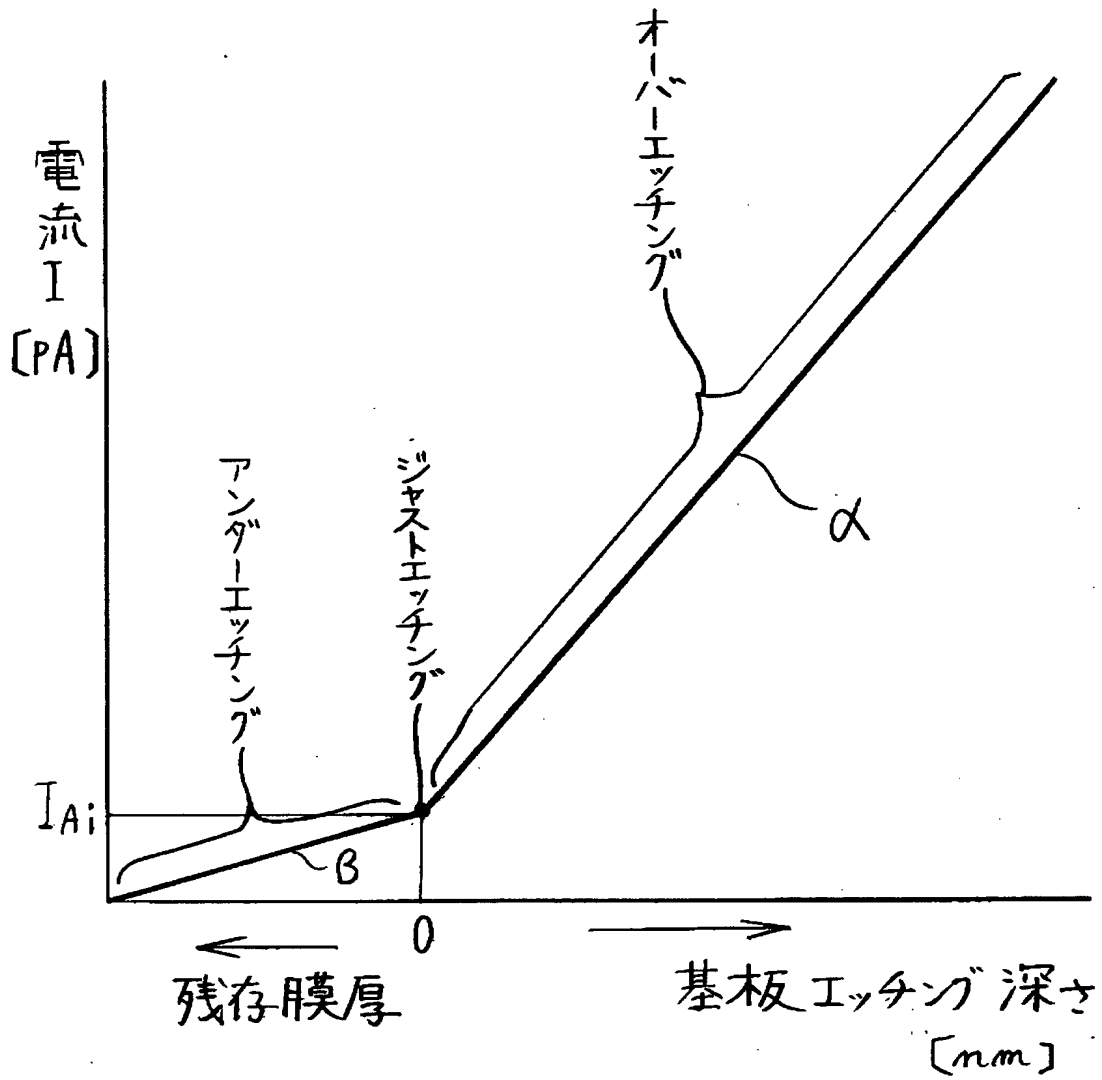
【図2】



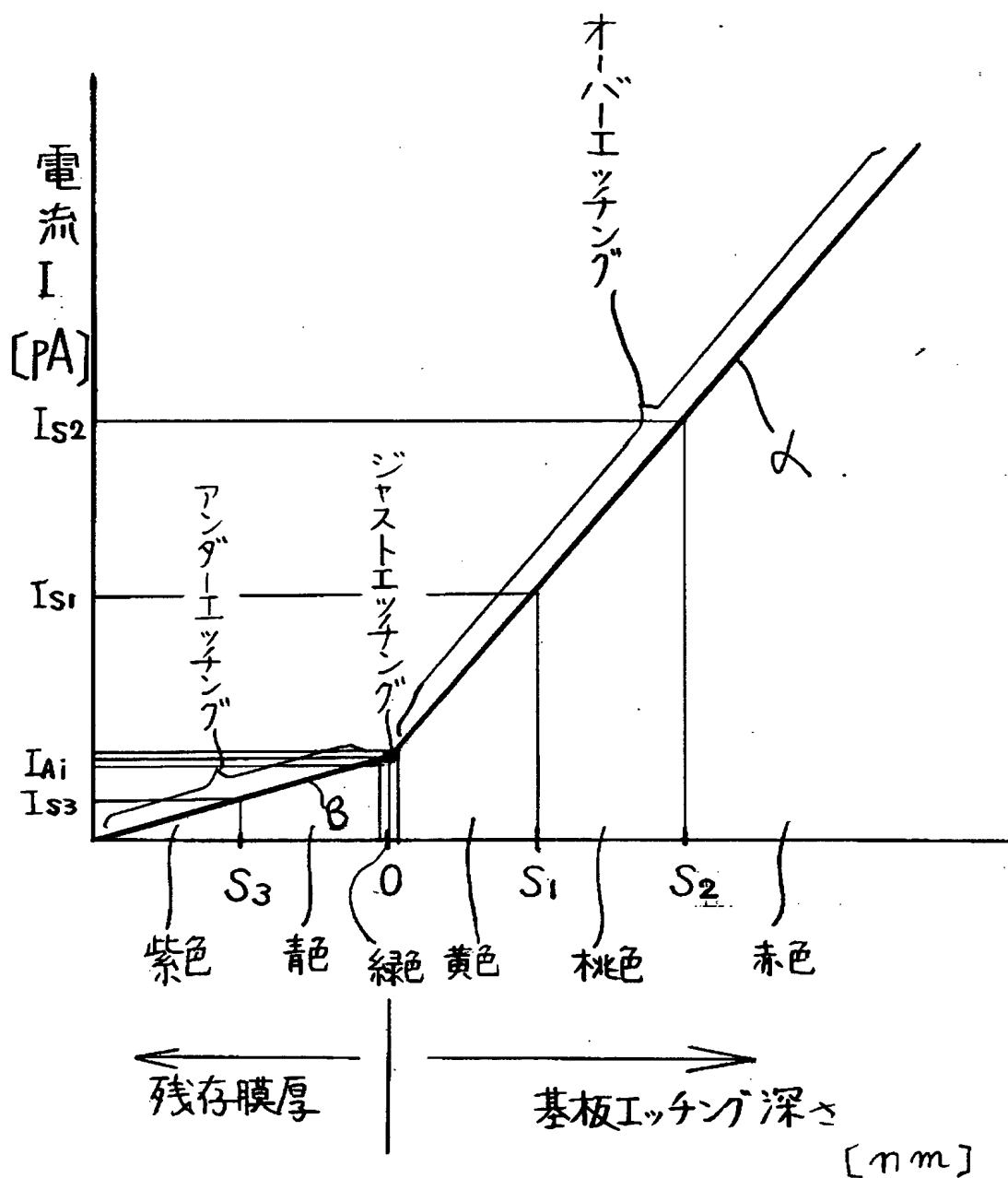
【図 3】



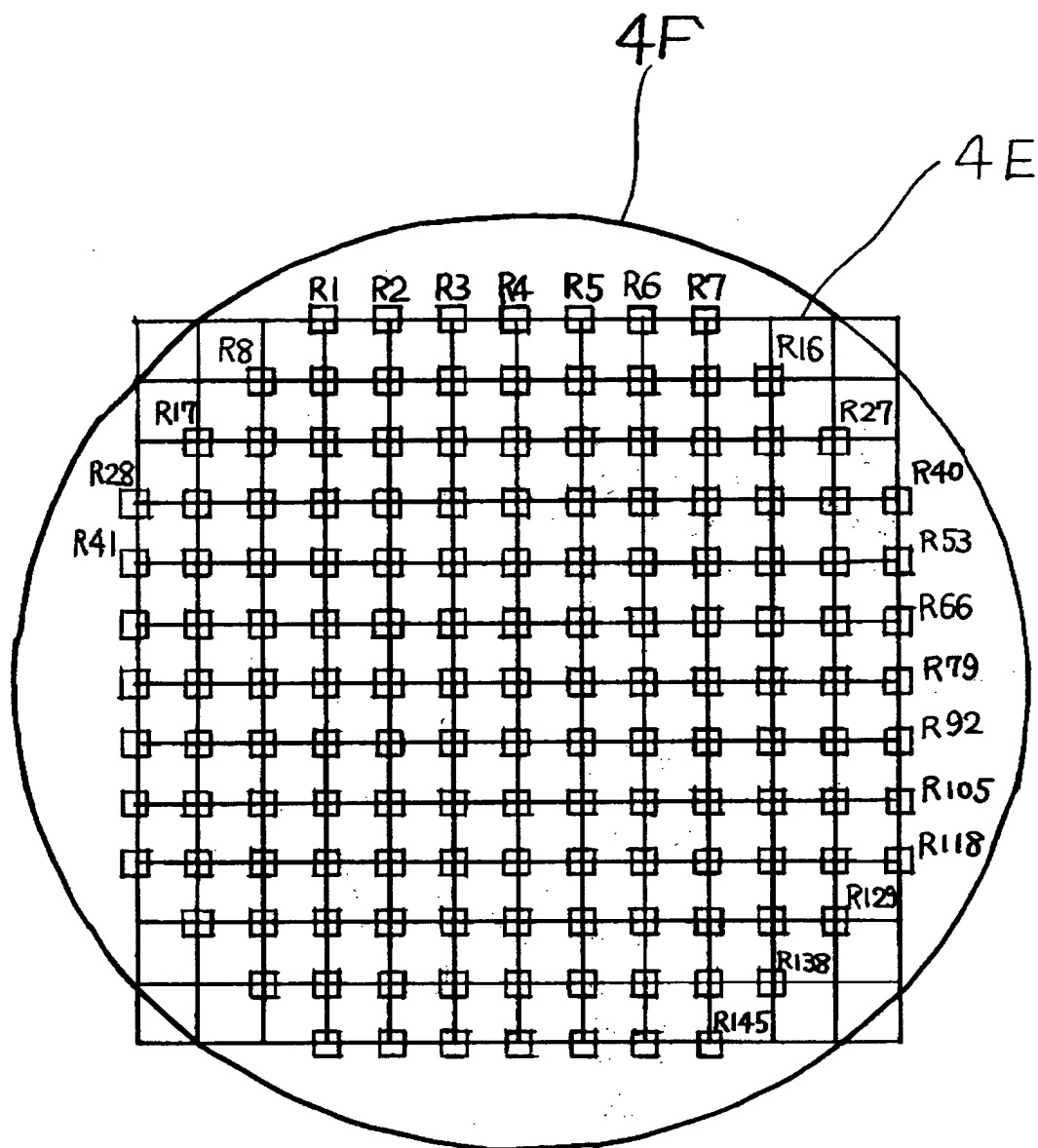
【図4】



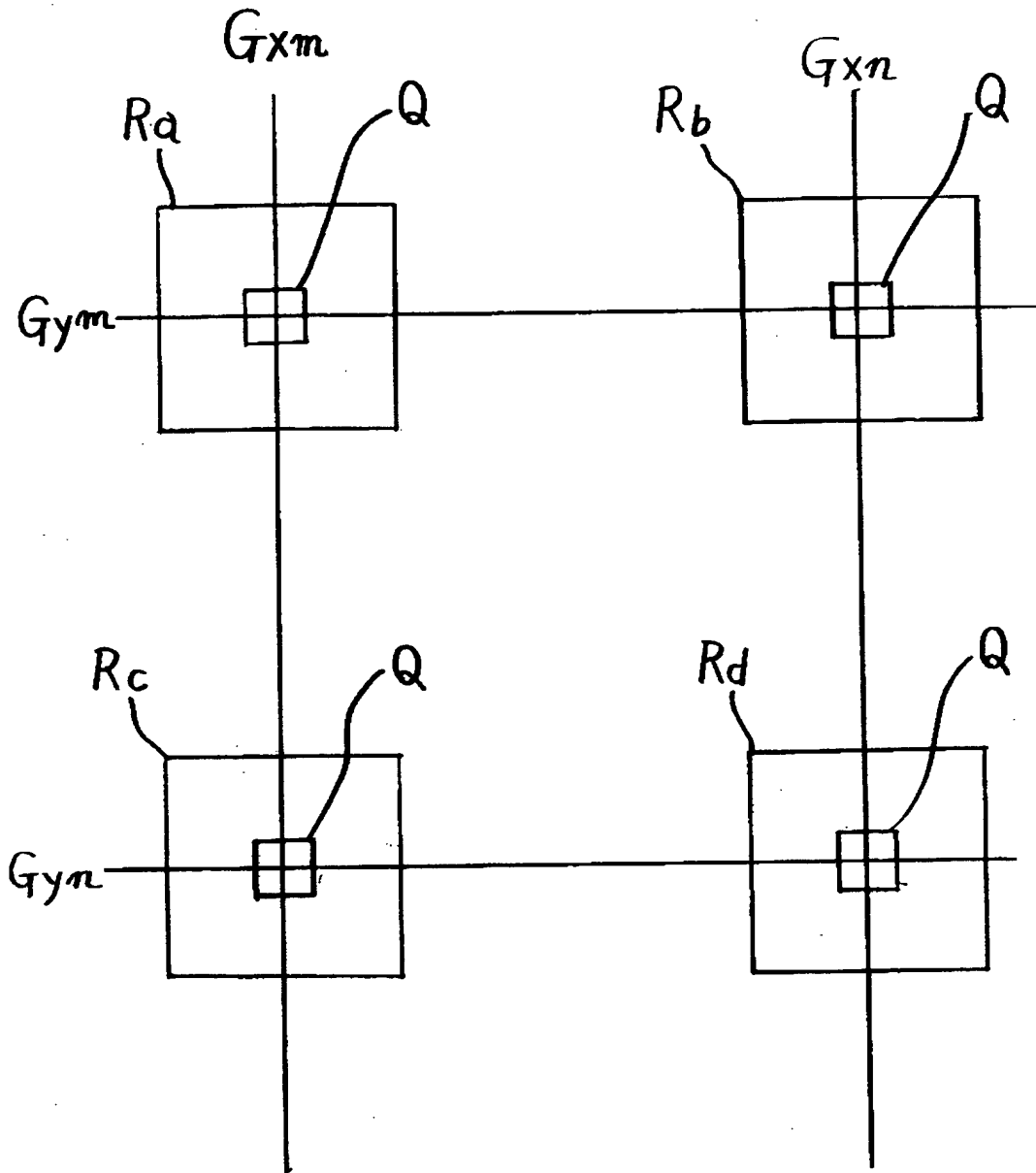
【図5】



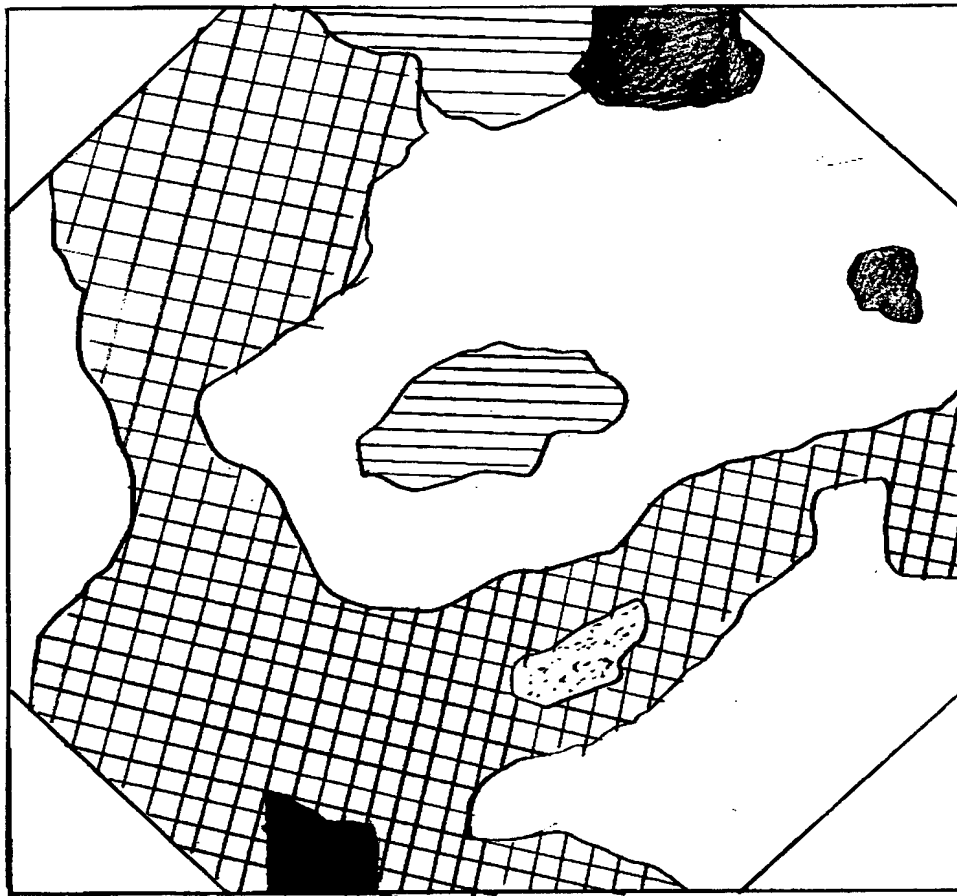
【図 6】









【図7】

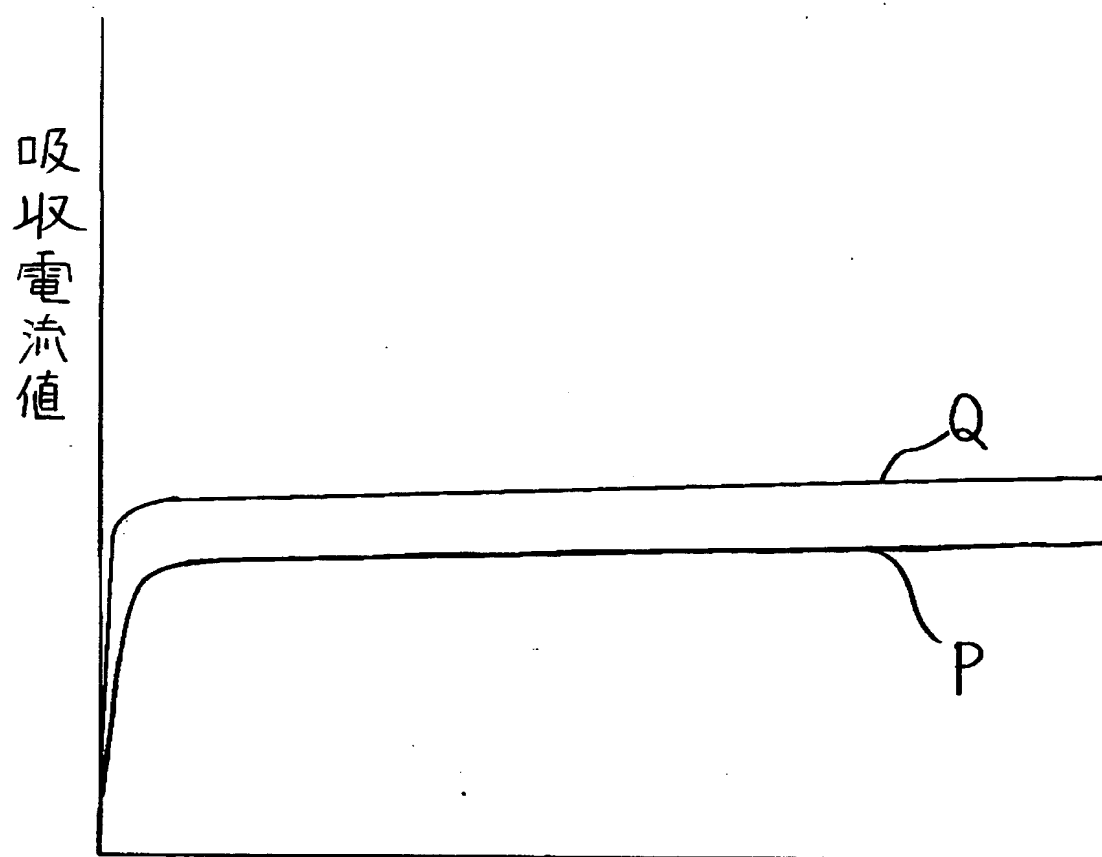


【図 8】



- | | |
|--|--|
|  赤色 |  緑色 |
|  桃色 |  青色 |
|  黄色 |  黒色 |

【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 コンタクトホール若しくはビアホールなどのエッチング状態を検査する方法を提供する。

【解決手段】 ウエハの如き試料上に形成されたコンタクトホールに順次電子ビームを照射し、試料 4 に流れる吸収電流が電流増幅器 1 6 にて検出され、得られた吸収電流信号データはメモリ 1 8 に記憶される。制御装置 1 5 はこの吸収電流信号データを、予め標準試料を用いて求められている試料・接地間に流れる電流とコンタクトホールにおける基板のエッチング深さとの関係に照合して、測定対象のホールにおける基板のエッチング深さを検査する。

【選択図】 図 3

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-021615
受付番号	50100126929
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成13年 1月31日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成13年 1月30日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004271]

1. 変更年月日 1990年 8月 7日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号
氏 名 日本電子株式会社



CERTIFICATE

I, Junji Abe of JEOL Ltd., 1-2, Musashino 3-chome, Akishima, Tokyo, Japan, hereby declare that I am the translator of the attached documents and certify that the following is a true translation to the best of my knowledge and behalf.

A handwritten signature in cursive script, reading "Junji Abe". The signature is written over a horizontal line.

Junji Abe

Dated 18th day of June, 2003



JAPAN PATENT OFFICE

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application: January 30, 2001

Application Number: Patent Application Serial No. 2001-022615

Applicant(s): JEOL Ltd.

RECEIVED
AUG 14 2003
TECHNOLOGY CENTER

June 5, 2003

Commissioner,
Japan Patent Office

Shinichiro Oota

【Name of Document】 Application for Patent

【Reference Number】 20000273

【Address】 To Director-General of the Patent Office

【International Patent Classification】 H01L 21/66

【Inventor】

【Address or Abode】 1-2, Musashino 3-chome, Akishima, Tokyo
c/o JEOL Ltd.

【Name】 Naoki Kikuchi

【Inventor】

【Address or Abode】 1-2, Musashino 3-chome, Akishima, Tokyo
c/o JEOL Ltd.

【Name】 Tsutomu Negishi

【Inventor】

【Address or Abode】 1-2, Musashino 3-chome, Akishima, Tokyo
c/o JEOL Ltd.

【Name】 Yuki Ono

【Applicant for Patent】

【Identification Number】 000004271

【Name or Title】 JEOL Ltd.

【Representative】 Terukazu Eto

【Telephone Number】 042-542-2165

【Identification of Fee】

【Registered Number for Prepayment】 008280

【Amount of Payment】 21000

【List of Submitted Objects】

【Name of Objects】 1 Specification

【Name of Objects】 1 set of Drawings

【Name of Objects】 1 Abstract

【NAME OF DOCUMENT】

Specification

【TITLE OF THE INVENTION】 METHOD OF INSPECTING HOLES USING
CHARGED-PARTICLE BEAM

【SCOPE OF CLAIMS FOR PATENT】

【CLAIM 1】 A method of inspecting a hole using a charged-particle beam, comprising the steps of:

irradiating the hole with the charged-particle beam, the hole being formed in an etched layer on a substrate forming a sample to be inspected;

detecting an electric current flowing between the inspected sample and ground as a result of the irradiation; and

knowing etch depth of said hole into the substrate regarding the inspected sample, based on a relation of the current flowing between a reference sample and ground to the etch depths of the holes into the substrate, the relation being previously found using the reference sample.

【CLAIM 2】 A method of inspecting a hole using a charged-particle beam, comprising the steps of:

irradiating the hole with the charged-particle beam, the hole being formed in an etched layer on a substrate forming a sample to be inspected;

detecting an electric current flowing between the inspected sample and ground as a result of the irradiation; and

knowing how the hole in the inspected sample is etched, based

on relations of the current flowing between a reference sample and ground to etch depths of holes into the substrate and to remaining film thickness in the holes, the relations being previously found using the reference sample.

【CLAIM 3】 A method of inspecting a hole using a charged-particle beam as set forth in claim 1, further including the steps of:

previously finding a relation of electric current flowing between the reference sample and ground to etch depths of holes into the substrate, using the reference sample;

previously classifying these etch depths into plural groups;
and

knowing which of the groups does the currently inspected etch depth belong, based on the detected electric current flowing between the inspected sample and ground.

【CLAIM 4】 A method of inspecting a hole using a charged-particle beam as set forth in claim 2, further including the steps of:

previously finding a relation of electric current flowing between the reference sample and ground to etch depths of holes or a relation of electric current flowing between the reference sample and ground to remaining film thicknesses in the holes;

previously classifying these etch depths or remaining film thicknesses into plural groups; and

knowing which of the groups does the currently inspected etch depth belong, based on the detected electric current flowing

between the inspected sample and ground.

【CLAIM 5】 A method of inspecting a hole using a charged-particle beam as set forth in claim 3 or 4, wherein said groups are displayed with different symbols or different pieces of information, in different colors, or with different brightness levels.

【CLAIM 6】 A method of inspecting a hole using a charged-particle beam as set forth in claim 5, wherein said different symbols or different pieces of information are characters.

【CLAIM 7】 A method of inspecting a hole using a charged-particle beam, comprising the steps of:

irradiating the hole with the charged-particle beam, the hole being formed in an etched layer on a substrate forming a sample to be inspected;

detecting an electric current flowing between the inspected sample and ground as a result of the irradiation;

comparing the detected electric current with an electric current that is previously found using a reference sample and flowing between the reference sample and ground where the hole is precisely etched; and

judging that the hole in the inspected sample is precisely etched if the two currents agree, that the hole is overetched if the detected electric current is greater than the previously found current, and that the hole is underetched if the detected current is smaller than the previously found current.

【CLAIM 8】 A method of inspecting a hole using a charged-particle beam as set forth in claim 7, wherein said groups are displayed with different symbols or different pieces of information, in different colors, or with different brightness levels.

【CLAIM 9】 A method of inspecting a hole using a charged-particle beam as set forth in claim 8, wherein said different symbols or different pieces of information are characters.

【CLAIM 10】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam, comprising the steps of:

irradiating a region containing the holes with the charged-particle beam, the holes being formed in an etched layer on a substrate forming a sample to be inspected;

detecting an electric current flowing between the inspected sample and ground as a result of the irradiation;

repeating these steps for plural regions previously established on the inspected sample;

obtaining data about a distribution of etch depths of the holes in the inspected sample into the substrate, based on the detected current and on a relation of detected current flowing between the reference sample and ground to etch depth of hole into the substrate, the relation being previously found using the reference sample; and

displaying a map based on the obtained data about the distribution on a display unit.

【CLAIM 11】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in claim 10, wherein said map is displayed with different symbols or different pieces of information, in different colors, or with different brightness levels.

【CLAIM 12】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in claim 11, wherein said different symbols or different pieces of information are characters.

【CLAIM 13】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam, comprising the steps of:

irradiating a region containing the holes with the charged-particle beam, the holes being formed in an etched layer on a substrate forming a sample to be inspected;

detecting an electric current flowing between the inspected sample and ground as a result of the irradiation;

repeating these steps for plural regions previously established on the inspected sample;

obtaining data about a distribution of etch depths of the holes in the inspected sample into the substrate, based on the detected current and on a previously found relation of electric current flowing between a reference sample and ground to etch depths of holes into the substrate and also on a previously found relation of the electric current flowing between the reference sample and ground to remaining film thicknesses in the holes; and

displaying a map on a display unit, based on data obtained about the distribution of degrees of etching in the holes in the inspected sample.

【CLAIM 14】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in claim 13, wherein said map is displayed with different symbols or different pieces of information, in different colors, or with different brightness levels.

【CLAIM 15】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in claim 14, wherein said different symbols or different pieces of information are characters.

【CLAIM 16】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in any one of claims 10-15, wherein each of said plural regions is so selected that plural holes are contained therein.

【CLAIM 17】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in any one of claims 10-15, wherein said regions illuminated with said charged-particle beam are selected to be in certain positions within a periodic pattern formed on said sample.

【CLAIM 18】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in any one of claims 10-15, wherein each of said regions is totally scanned with said charged-particle beam in a scanning period, said electric current is accumulated during the scanning period, and an obtained accumulated value is used

as a measurement value about each region.

【CLAIM 19】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in any one of claims 10-15, wherein each of said regions is totally scanned with said charged-particle beam in a scanning period, an average value of said current over the scanning period is taken, and said average value is used as a measurement value about each region.

【CLAIM 20】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in any one of claims 10-15, wherein each of said regions is totally irradiated with said charged-particle beam without scanning of the beam in an irradiation period, said electric current is accumulated during the irradiation period, and an obtained accumulated value is used as a measurement value about each region.

【CLAIM 21】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in any one of claims 10-15, wherein each of said regions is totally irradiated with said charged-particle beam without scanning of the beam in an irradiation period, an average value of said current over the irradiation period is taken, and said average value is used as a measurement value about each region.

【CLAIM 22】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam, comprising the steps of:

preparing a reference sample precisely etched;

preparing an unknown sample that is not known whether it has been etched precisely or not;

irradiating a region of said reference sample containing holes with the charged-particle beam;

detecting an electric current flowing between the reference sample and ground;

repeating these irradiating step and detecting step for plural preselected regions on said reference sample;

irradiating a region of said unknown sample containing holes with the charged-particle beam;

detecting an electric current flowing between the unknown sample and ground;

repeating these irradiating step and detecting step for plural preselected regions on said unknown sample;

finding data about current distributions on the reference sample and on the unknown sample;

creating graphs indicative of the characteristics of the currents flowing through the regions of the reference sample and unknown sample; and

displaying said graphs side by side on a display unit.

[CLAIM 23] A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in claim 22, wherein said graphs indicative of the characteristics are formed by plotting detected current values in increasing order, from their minimum values.

【CLAIM 24】 A method of inspecting holes using a charged-particle beam as set forth in claim 22, wherein said graphs indicative of the characteristics are formed by plotting detected current values in decreasing order, from their maximum values.

【DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION】

【0001】

【TECHNICAL FIELD OF THE INVENTION】

The present invention relates to a method of inspecting holes such as contact holes or via holes, using a charged-particle beam, the holes being formed during a manufacturing process for semiconductor devices such as ICs and LSIs, to grasp the state of formed holes, especially the state of etched holes.

【0002】

【PRIOR ART】

A semiconductor device consists, for example, of a silicon wafer (silicon substrate) on which a multilayer structure is formed. In this multilayer structure, a dielectric layer is formed between certain layers. Contact holes or via holes are formed in this dielectric layer. These contact holes or via holes are filled with metallization (conductive material) to make electrical connections between the certain layers. In the following description, contact holes are taken as an example.

【0003】

Such contact holes are formed by applying resist to the

dielectric layer, exposing the resist according to the pattern of the contact holes, and then performing development and etching steps during a process for fabricating a semiconductor device.

【0004】

Where these contact holes are formed, if a contact hole Ca extends even into a conductive layer D through a dielectric layer A (known as overetching) as shown in Figure 1(a), or if a contact hole Cb is formed while leaving behind a part of the dielectric layer A (known as underetching), the final product does not function normally as a semiconductor device and is a defective device.

【0005】

Therefore, inspecting the state of the contact holes after they have been formed is important in determining whether the subsequent process sequence is carried out or not. Furthermore, it can be judged according to the results of this inspection (i.e., the state of the formed contact holes) whether the development or etching that is a previous step was appropriate or not. Additionally, the process for forming the contact holes can be analyzed for causes of defects.

【0006】

The state of contact holes formed in this way is inspected nondestructively, for example, by electron beam irradiation

from a scanning electron microscope (SEM). In particular, contact holes are scanned with an electron beam. A secondary electron image of the contact holes is displayed on the viewing screen of a display unit, based on detected secondary electrons. This image is observed. Thus, the state of the etched contact holes (i.e., the etching process) is inspected.

【0007】

【PROBLEM TO BE SOLVED BY THE INVENTION】

In recent years, elements forming semiconductor devices have become decreased in size. Also, these elements have tended to be formed in plural layers. With this trend, contact hole diameters have decreased. Also, their depths have increased. Consequently, contact holes have increased in aspect ratio (depth/diameter). Therefore, the efficiency at which secondary electrons from inside holes are captured has decreased greatly. This has made it difficult to precisely grasp the state of formed contact holes, i.e., the etching process.

【0008】

In some cases, a wafer is cut along a plane including the center axis of a contact hole, and the cross section is observed with a scanning electron microscope. In recent years, however, larger wafer sizes (e.g., having diameters of 200 to 300 mm) have been used. Therefore, it is difficult to create cross sections adapted for observation with a scanning electron

microscope. Furthermore, the aspect ratio (depth/diameter) of contact holes has tended to increase as mentioned previously, thus making it difficult to perform the cutting operation itself for cutting a wafer along a plane including the center axis of a contact hole.

【0009】

A method of evaluating the thickness of a film remaining on the bottom surface of a contact hole has been recently proposed. An electron beam is made to hit this contact hole having the remaining film on its bottom surface. The value of an electric current flowing through the remaining film into a support substrate located immediately under the opening is measured. A pseudo-remaining film on the bottom surface of the opening is assumed. A reference sample is used to previously create a comparison table that correlates the aforementioned current value with the thickness of the pseudo-remaining film. Then, an electron beam is directed to a contact hole to be inspected. The value of the current passing through the film is measured. The thickness of the film remaining on the bottom surface of the contact hole is evaluated based on the measured current value by referring to the comparison table (see, Japanese Patent Provisional Publication No. 2000-164715). This method is only capable of evaluating the thickness of the film remaining on the bottom surface of the contact hole.

【0010】

Where contact holes are formed during a process for fabricating semiconductor devices, underetching may occur, leaving behind a film in contact holes. In practice, overetching may also take place. That is, contact holes extend into the substrate. In the latter case, it is necessary to grasp the depth of the contact holes into the substrate (i.e., etch depth of the contact holes into the substrate) based on results of an inspection of the contact holes.

【0011】

The present invention has been made to solve this problem. It is an object of the present invention to provide a novel Method of inspecting a contact hole or holes using a charged-particle beam in such a way that the state of the contact holes can be grasped (i.e., it is possible to know how the holes are etched).

【0012】

【MEANS FOR SOLVING THE PROBLEMS】

A method of inspecting a hole using a charged-particle beam in accordance with the present invention comprises the steps of: irradiating the hole with the charged-particle beam, the hole being formed in an etched layer on a substrate forming a sample to be inspected; detecting an electric current flowing between the inspected sample and ground as a result of the

irradiation; and knowing the etch depth of the hole into the substrate regarding the inspected sample, based on a relation of the current flowing between a reference sample and ground to the etch depth of the hole into the substrate, the relation being previously found using the reference sample.

Another method of inspecting a hole using a charged-particle beam in accordance with the present invention comprises the steps of: irradiating the hole with the charged-particle beam, the hole being formed in an etched layer on a substrate forming a sample to be inspected; detecting an electric current flowing between the inspected sample and ground as a result of the irradiation; and knowing how the hole in the inspected sample is etched, based on a relation of the current flowing between a reference sample and ground to etch depths of holes into the substrate and on a relation of the current to remaining film thickness in the holes, the relations being previously found using the reference sample.

【0013】

A further method of inspecting a hole using a charged-particle beam in accordance with the present invention comprises the steps of: irradiating the hole with the charged-particle beam, the hole being formed in an etched layer on a substrate forming a sample to be inspected; detecting an electric current flowing between the inspected sample and ground as a result of the

irradiation; comparing the detected current with a reference electric current previously found from a precisely etched reference sample, the reference electric current flowing between the reference sample and ground; and judging that the hole in the inspected sample has been precisely etched if the two compared currents are the same, that the hole has been overetched if the former current is greater than the latter current, and that the hole has been underetched if the former current is smaller than the latter current.

A yet other method of inspecting holes using a charged-particle beam in accordance with the present invention comprises the steps of: irradiating a region containing the holes with the charged-particle beam, the holes being formed in an etched layer on a substrate forming a sample to be inspected; detecting an electric current flowing between the inspected sample and ground as a result of the irradiation; repeating these steps for plural regions previously established on the inspected sample; obtaining data about the distribution of etch depths of holes in the inspected sample into the substrate, based on the detected current and on a relation of a reference current to etch depths of holes into the substrate, the reference current flowing between a reference sample and ground, the relation being previously found using the reference sample; and displaying a map based on the obtained data about the distribution

on a display unit.

A still other method of inspecting holes using a charged-particle beam in accordance with the present invention, comprises the steps of: irradiating a region containing the holes with the charged-particle beam, the holes being formed in an etched layer on a substrate forming a sample to be inspected; detecting an electric current flowing between the inspected sample and ground as a result of the irradiation; repeating these steps for plural regions previously established on the inspected sample; obtaining data about the distribution of etch depths of the holes in the inspected sample into the substrate, based on a previously found relation of electric current flowing between the reference sample and ground to etch depths of holes into the substrate and on a previously found relation of the electric current to remaining film thickness in the holes; and displaying a map on a display unit, based on data obtained about the distribution of degrees of etching in the holes in the inspected sample.

【0014】

An additional method of inspecting holes using a charged-particle beam in accordance with the present invention comprises the steps of: preparing a reference sample precisely etched; preparing an unknown sample that is not known whether it has been etched precisely or not; irradiating a region of

said reference sample containing holes with the charged-particle beam; detecting an electric current flowing between the reference sample and ground; repeating these irradiating step and detecting step for previously established plural regions on said reference sample; irradiating a region of said known sample containing holes with the charged-particle beam; detecting an electric current flowing between the unknown sample and ground; repeating these irradiating step and detecting step for previously established plural regions on said unknown sample; finding data about current distributions on the reference and unknown samples; creating graphs indicative of the characteristics of the currents flowing through the regions of the reference sample and unknown sample; and displaying the graphs side by side on a display unit.

【0015】

【SUBSTANTIAL SHAPE OF THE INVENTION】

The preferred embodiments of the present invention are described with reference to the accompanying drawings as follow.

【0016】

In the beginning, the principle of the present invention is described.

【0017】

Where a semiconductor device is inspected in accordance with the present invention, it is judged based on an absorbed current

whether a contact hole has been overetched, underetched, or precisely etched. An electric current (absorbed current) flows into the semiconductor substrate (conductive layer) through the bottom of the contact hole. Where the contact hole has been precisely etched, it follows that no dielectric layer is left at the bottom of the contact hole and that the substrate is left unetched.

【0018】

The incident electron current I_a based on an electron beam hitting the contact hole, the absorbed current I_b , and the current I_c of reflected electrons including secondary electrons have the relation

$$I_a = I_b + I_c$$

【0019】

In the case of a contact hole (C_c of Figure 2(c)) precisely etched, if electrons EB hit the bottom surface (the surface of a conductive layer D) of the contact hole C_c , some are absorbed into the bottom surface of the contact hole C_c , whereas the others are reflected. If these reflected electrons partially reach the side surface of the contact hole C_c , no absorbed current flows because the side surface is entirely made of the inner surface of a dielectric layer A . Accordingly, the current detected by an ammeter G arises only from electrons absorbed into the bottom surface of the contact hole C_c .

【0020】

In the case of an overetched contact hole (Ca of Figure 2(a)), if electrons *EB* hit the bottom surface (the surface of the conductive layer *D*) of the contact hole Ca, some are absorbed into the bottom surface of the hole Ca, while the others are reflected. Some of the reflected electrons reach the side surface of the contact hole Ca. This side surface is composed of the inner surface of the dielectric layer A and the inner surface of the conductive layer D. If electrons reach the former inner surface, no absorbed current flows. If electrons reach the latter inner surface, some of the electrons are absorbed. Therefore, the current detected by the ammeter G arises from electrons absorbed into the bottom surface of the contact hole Ca and from electrons absorbed into the conductive layer of the side surface. Hence, this current is larger than the current occurring where the hole is precisely etched. We have confirmed that the degree of the difference roughly corresponds to the area of the conductive layer that occupies a part of the area of the side surface of the contact hole Ca.

【0021】

In this way, there is a correlation between the state of each etched contact hole (i.e., the etch depth into the substrate) and the total area of the conductive layer portions exposed at the bottom and side surfaces of the contact hole. That is,

the state of the formed contact hole (i.e., the etch depth of the contact hole into the substrate) has a close relation with the magnitude of the absorbed current arising from the detected electrons. Accordingly, a silicon wafer (reference sample) having contact holes overetched to known different degrees is previously prepared. An electron beam is made to hit each contact hole. The resulting absorbed current is measured. Based on these measurements, the relation of the absorbed current value to the etch depth of the contact hole into the substrate is found. An electron beam is caused to hit a contact hole that is a sample to be investigated. The resulting absorbed current is measured. The measured current is compared with the above-described relation. Consequently, the state of the etched hole, or the etch depth of the contact hole, which is a sample under investigation, into the substrate, can be evaluated.

【0022】

Figure 3 schematically shows one example of inspection equipment for carrying out a method of inspecting a semiconductor device in accordance with the present invention.

【0023】

An electron gun 1 emits an electron beam that is appropriately focused onto a sample 4 such as a wafer by a system of condenser lenses 2 and an objective lens 3. An X-deflection coil 5X and

a Y-deflection coil 5Y cause the electron beam to scan across the sample. The sample 4 is placed on a sample stage 7 that is moved by a stage drive mechanism 6. A lens control circuit 8 controls the excitation strength of the system of condenser lenses 2. Another lens control circuit 9 controls the excitation strength of the objective lens 3. A deflection control circuit 10 supplies deflecting signals to the deflection coils 5X and 5Y. A sample stage moving instruction, a lens controlling instruction, and a deflection controlling instruction are sent from a control unit 15 to the stage drive mechanism 6, lens control circuits 8, 9, and deflection control circuit 10 via D/A converters 11, 12, 13, and 14, respectively. The control unit 15 gives various instructions and performs various kinds of data processing.

【0024】

A current amplifier 16 detects the current (absorbed current) flowing through the sample 4 and amplifies the current. The output from the current amplifier is sent to the control unit 15 via an A/D converter 17. Two memories 18A and 18B are connected with the control unit 15. A display unit 19 consists of a cathode-ray tube (CRT) or the like.

【0025】

In this instrument, data (I_{Ai} in Fig. 4) about absorbed current values where a contact hole has been precisely etched is

previously stored in the memory 18B. The current values are measured using the reference sample.

【0026】

The electron beam from the electron gun 1 is appropriately focused by the system of condenser lenses 2 and objective lens 3. The electron beam is directed onto a contact hole of interest in the sample 4 by the deflection coils 5X and 5Y. The absorbed current flowing through the sample 4 is detected and amplified by the current amplifier 16. The output signal from this amplifier 16 is sent to the control unit 15 via the A/D converter 17. The control unit 15 once holds data about this absorbed current in the memory 18A.

【0027】

The control unit 15 reads data I_{Ai} about absorbed current values from the memory 18B where the hole has been precisely etched. The control unit 15 also reads data about absorbed current signal just measured from the memory 18A. If the measured absorbed current is the same as the absorbed current value I_{Ai} , the control unit judges that the inspected contact hole has been precisely etched. If the measured absorbed current value is greater than the absorbed current value I_{Ai} , then the control unit judges that the contact hole has been overetched. If the measured absorbed current value is smaller than the absorbed current value I_{Ai} , then the control unit judges that the contact holes has been

underetched. The results of the judgment are displayed on the display unit 19. For example, if the hole has been precisely etched, symbol "O" is displayed. If the hole has been overetched, symbol "x" is displayed. If the hole has been underetched, symbol "Δ" is displayed. Alternatively, precise etching, overetching, and underetching may be displayed in green, red, and blue, respectively. The hole is judged to be etched precisely if the absorbed current falls within a range $I_{A1} \pm \Delta I$ (where ΔI is a tight tolerance).

【0028】

Measurements on one contact hole can be performed and the results of the judgment can be displayed as described above. This sequence of operations is performed for contact holes at arbitrary positions on the sample 4. Consequently, it is possible to judge the state of each etched contact hole, i.e., whether each contact hole has been precisely etched.

【0029】

In the description given above, the absorbed current value I_{A1} indicating that each hole has been precisely etched is stored in the memory 18B. Only a decision is made based on this value I_{A1} as to whether the hole has been overetched, precisely etched, or underetched. In the following embodiment, the degree of overetching (i.e., the etch depth into the substrate) can be known. In addition, in this embodiment, in case of underetching,

the degree of underetching, i.e., the thickness of the film remaining in the contact hole can be known. Accordingly, in this embodiment, the state of the etched hole can be known. Furthermore, the degree of the etching can be evaluated precisely, whether the hole has been overetched or underetched.

【0030】

First, the relation (α of Figure 4) of the absorbed current value I to the etch depth of the contact hole into the substrate and the relation (β of Figure 4) between the thickness of the film remaining in the contact hole and the absorbed current value I are found, using a reference sample. A reference table for absorbed current value-etch depth conversion and for absorbed current value-remaining film thickness conversion as shown in Figure 4 is stored in the memory 18B.

【0031】

Then, an electron beam is directed to one desired contact hole in the inspected sample 4. Data about an absorbed current signal obtained from the inspected sample is stored in the memory 18A.

【0032】

After this measurement, the control unit 15 compares each absorbed current signal value stored in the memory 18A with absorbed current values stored in the memory 18B and finds the value of etch depth or remaining film thickness corresponding

to the absorbed current signal value. In displaying the found etch depth or remaining film thickness, the degree of the etching may be displayed using different colors or symbols such as numerals. For example, the range of etch depth in the overetched area α into the substrate is divided into three subranges, for example, as shown in Figure 5. The subrange in which the etch depth is greater than 0 obtained when the hole is precisely etched and less than S_1 is displayed in yellow. The subrange in which the etch depth is greater than S_1 and less than S_2 is displayed in pink. The subrange in which the etch depth is greater than S_2 is displayed in red. The range of the residual film thickness in underetched area β is divided into two subranges, for example. The subrange in which the residual film thickness is between 0 and S_3 is displayed in blue. The subrange in which the residual film thickness is greater S_3 is displayed in violet. Precise etching is displayed in green. Degrees of the inspected specimen are displayed in different colors indicating the subranges in which measured absorbed current values fall. Alternatively, the level indicative of precise etching may be indicated by 0. The three subranges within an overetched area may be indicated by +1, +2, and +3, respectively, from the lower side. The two subranges within an underetched area may be indicated by -1 and -2, respectively, from the higher side. In this way, degrees of etching may be indicated by numerical values indicating the

levels of subranges in which measured absorbed current values fall. For example, the etch depth is X nm, or the remaining film thickness is Y nm.

A quite large number of contact holes exist over the whole one silicon wafer. If the contact holes are inspected one by one, an exorbitantly long time will be necessary. Accordingly, the whole wafer surface is appropriately divided into 7 virtual portions. One contact hole in each portion is inspected as a typical contact hole. With this inspection, however, it is not certain whether the results of the inspection obtained from the inspected contact hole represent the state of many etched or developed contact holes existing close to the inspected hole. Furthermore, it is difficult to appropriately judge the development or etching step that is a previous process step only from the results of inspections of such few (seven) contact holes. Contact holes are not processed one by one but many holes in the whole semiconductor substrate are processed at a time by batch processing. For example, the degree of penetration of each hole is affected by the intensity distribution of plasma in a plasma etcher for etching contact holes or by variations in chemical reaction of a resist developing solution within the substrate. Therefore, it is quite meaningful to judge the overall state of the contact holes formed over the whole substrate rather than the state of each individual contact hole.

【0033】

Accordingly, another embodiment of the invention is next described. A substrate provided with a large number of contact holes and used for a semiconductor device is prepared. Small areas each containing plural contact holes are successively irradiated with a charged-particle beam. During each irradiation, the absorbed current flowing between the substrate and ground is measured. An absorbed current signal about each small area is obtained over the whole substrate. The measured absorbed current value is compared with the relation of the current flowing between the sample and ground to the degree of etching of the contact hole, the relation being previously found using a reference sample. Thus, the distribution of etching degrees over the whole substrate is obtained. This distribution makes it possible to grasp the overall state of the contact holes over the whole substrate surface. Preferably, the size and positions of the small areas are so set that plural contact holes are present within each small area. Where each small area having plural or numerous contact holes is entirely irradiated with a charged-particle beam and the resulting absorbed current is measured in this way, the amount of the resulting absorbed current is larger than where one contact hole is irradiated with the beam. During detection, problems of noise and response speed are alleviated. Furthermore, where only one contact hole is

irradiated with an electron beam and this hole is formed peculiarly differently from many other surrounding contacts, it is not desirable to represent the overall state of the many surrounding contact holes by the results of the measurement on only the single contact hole. In contrast, where plural contact holes are present within each contact hole and all are irradiated with a charged-particle beam, then average results will be obtained. If a unique hole is contained among them, the effect can be modified greatly. The results are more preferable as measurement results representing the state of formed contacts within the region.

【0034】

First, absorbed current measurement regions are established over the whole effective surface 4E of the surface of a sample 4F on which a semiconductor chip is fabricated. For example, 13 virtual horizontal lines spaced equally from each other and 13 virtual vertical lines spaced equally from each other are drawn perpendicular to each other on the effective surface 4E of the sample surface, as shown in Figure 6. A measurement region is established around each intersection of these lattice lines. Preferably, the measurement regions are uniform in number of contact holes and in their arrangement. The spacing between the lattice lines and their positions are so selected that the lattice points appear in locations created by the same location

within one pattern (chip pattern) by repeatedly arraying this pattern. In Figure 6, chip patterns for which measurement regions are established are indicated by R1, R2, R3, R4, R5, ..., R145. In practice, each region irradiated with an electron beam is set to a small area Q measuring from 1 mm \times 1 mm to 0.1 mm \times 0.1 mm, taking account of a scanning width of 1 mm in which deflection distortion of the electron beam is tolerated as shown in Figure 7. A given number of contact holes are formed within this small area. In Figure 7, Gxm, Gxn, Gym, and Gyn indicate lattice lines. Ra, Rb, Rc, and Rd are chip pattern areas corresponding to the above-described R1, R2, R3, R4, R5, ..., R145. Each small area Q is illuminated with an electron beam in the manner described below.

【0035】

The excitation of the condenser lens system 2 and the excitation of the objective lens 3 are controlled by excitation signals from the lens control circuits 8 and 9. Thus, the convergence of the electron beam is adjusted so that the beam hitting the sample is sharply focused onto it. The sample stage 7 is moved in steps by the stage drive mechanism 6 such that the centers of the small areas Q within the regions R1, R2, R3, R4, R5, ..., R145 arrive at the center (center of scanning of the electron beam) of the optical axis of the electron beam in succession. At this time, each small area Q is scanned once or plural times

with the sharply focused electron beam while each small area Q is halted at the center of the optical axis of the beam. In this embodiment, the electron beam is sharply focused, and each small area Q is scanned. Alternatively, the cross-sectional shape of the electron beam may be made to correspond to the shape of each small area Q on the sample, and the whole small area may be kept illuminated for a given time.

【0036】

The absorbed current flowing through the sample 4 is amplified by the current amplifier 16 while each small area Q is being scanned with the electron beam or totally illuminated with the electron beam. The amplified current is integrated or accumulated during the scanning period. The integrated absorbed current detected in this way contains information indicating the average result of formation of the plural contact holes within each small area Q (i.e., how the average contact hole has been formed).

【0037】

Where resist is left within the contact holes or an unetched dielectric film remains, if an electron beam is directed to it, a charging effect will be produced. However, the effect will not be so serious that the absorbed current cannot be detected. Nonetheless, measurement of the absorbed current may be made impossible for other cause (i.e., a charging effect produced by the fact that the electron beam hits locations other

than contact holes). Accordingly, when the electron beam is made to hit the sample 4, secondary electrons emitted by the sample 4 may be detected by a secondary electron detector (not shown) which is normally mounted in this instrument. A secondary electron image may be displayed on a display unit based on the results of the detection. This display unit may be the aforementioned display unit 19 or a separately mounted display unit. The charging effect on the sample is judged from the image. Then, the probe current is determined. In this way, the charging effect on the sample is reduced to a minimum, and noise on the distribution image displayed on the display unit 19 as described later is reduced.

【0038】

In this manner, absorbed current signals obtained from the small areas Q within the chip patterns R1, R2, R3, R4, R5, ..., R145 are successively sent to the control unit 15 via the A/D converter 17. The control unit 15 stores data items, 145 in total, about the absorbed current signals derived from the small areas Q at those addresses of the first memory 18A which correspond to the coordinates (positions) of the small areas.

【0039】

Absorbed current values are previously measured using a reference sample under the same conditions (i.e., the same material, the same number of contact holes, and the same measurement

conditions) as the small areas Q of the inspected sample. The relations of etch depth and remaining film thickness to the measurement current values are found. Based on the found relations, the range of absorbed currents is divided into six subranges as shown in Figure 5. Six different colors or six brightness levels are assigned to the six subranges, respectively. The relations of the assigned colors or brightness levels to absorbed current values (Figure 5) are stored in the second memory 18B.

【0040】

Then, the control unit 15 reads 145 items of data about the absorbed current intensities over the whole sample surface from the memory 18A. An etch degree map is displayed on the viewing screen of the display unit 19 making use of the relations of the absorbed current value read from the second memory 18B to the assigned colors or brightness levels.

【0041】

At this time, a lattice consisting, for example, of 13×13 lattice lines is displayed on the viewing screen. A dot of an appropriate size determined taking account of the lattice spacing is displayed at each lattice position. The distribution of degrees of etching over the whole sample surface is displayed in terms of 145 dots by displaying each dot in a color or with a brightness corresponding to the degree of etching relative to the measured

current intensity value at each lattice point. The displayed image is inevitably rough if it is displayed in terms of 145 dots representing lattice points. A finer map can be displayed by increasing the number of dots. This is accomplished by adding displayed points between the 145 dots by an interpolation method. Fig. 8 shows an example in which data about numerous points between lattice points is found using the above-described data by an interpolation method and the intervening points are displayed. The distribution of degrees of etching over the whole wafer sample is displayed on the viewing screen of the display unit 19 in terms of 6 colors or 6 brightness levels. This method of display is known as contour plot representation or contour representation.

【0042】

In the above embodiment, an electron beam is made to hit a plurality of small regions having contact holes and previously established over the whole effective surface of a sample such as a wafer. Values of the absorbed current are measured. Then, the distribution of degrees of etching over the whole sample is found. Therefore, one can reliably judge how contact holes are etched over the whole sample or in a portion of interest. That is, the tendency can be judged reliably.

【0043】

Contour representation of the degrees of etching over the whole

sample makes clear the degrees of etching among various portions of the sample. Consequently, one can appropriately judge the etching processing. Also, the representation is useful in judging which portion should be analyzed for defects in contact holes.

【0044】

In the embodiment described above, an electron beam is directed to one small region of a chip pattern lying at one of the intersections of lattice lines, and the absorbed current is measured. Alternatively, the electron beam may be directed to plural small regions, and the resulting absorbed current may be measured.

【0045】

Where each small region Q is scanned plural times, an integrated value obtained by each scan may be averaged. The average value may be used as a measurement value obtained from this region.

【0046】

Furthermore, in the above embodiment, when locations at which the absorbed current is measured are established on the effective surface of a sample surface, 13 virtual horizontal lines and 13 virtual vertical lines are drawn at right angles to each other on a sample surface. The number of the lattice lines is not limited to the number used in this embodiment. If the number of lattice lines is increased to increase the number of measurement regions, then the accuracy of the distribution of degrees of

etching over the whole sample will be enhanced. However, the number of measurements is increased accordingly. Conversely, if the number of lattice lines is reduced, the accuracy of the distribution will deteriorate but the number of measurements is reduced accordingly.

【0047】

Another embodiment is now described. A sample to be investigated and a reference sample precisely etched are prepared. A charged-particle beam is directed to each region containing contact holes in each of the investigated sample and reference sample. The electric current flowing between the sample and ground is detected. This series of steps is repeated for previously set plural regions. Data about the current distributions on both samples is found. Graphs showing the current characteristics of the regions of the inspected sample and the precisely etched reference sample are displayed side by side on the display unit 19 as shown in Figure 9. The graph of Figure 9 is obtained by plotting detected current values indicating measurement values obtained from various regions. The current values are arrayed in order such that the smallest value is at the left end. Curve P indicates the characteristics of the reference sample, showing the manner that it is precisely etched. Curve Q indicates the characteristics of the inspected sample. Comparison of these characteristic curves makes it possible to judge how the inspected

sample is etched. In this case, as the difference of the characteristic curve Q of the inspected sample with the characteristic curve P of the precisely etched reference sample decreases, the inspected sample is etched better.

【0048】

In the embodiments described above, electron beam irradiation is utilized. Instead, ion beam irradiation may also be used.

【Brief DESCRIPTION OF THE DRAWINGS】

【FIGURE 1】 Figures. 1(a) and 1(b) are fragmentary cross-sections of contact holes showing how they have been etched.

【FIGURE 2】 Figures. 2(a), 2(b), and 2(c) are fragmentary cross-sections of contact holes, and in which an electron beam is directed to the bottom surfaces of the contact holes.

【FIGURE 3】 Figure 3 is a schematic block diagram of one example of inspection equipment for carrying out a method of inspecting semiconductor devices in accordance with the present invention.

【FIGURE 4】 Figure 4 is a graph showing the relation among the value of absorbed current, the etch depth of each contact hole into a substrate, and the thickness of residual film.

【FIGURE 5】 Figure 5 is a graph in which the range of absorbed current is classified according to the degree of etching where the relation shown in Figure 4 holds.

【FIGURE 6】 Figure 6 is a view showing absorbed current

measurement regions on the effective surface of a wafer sample surface.

【FIGURE 7】 Figure 7 is an enlarged view of parts of Figure 2.

【FIGURE 8】 Figure 8 is a contour map representation of the distribution of etching degrees over the whole sample displayed on the viewing screen of a display unit 19.

【FIGURE 9】 Figure 9 is a graph showing the characteristics of a reference sample precisely etched and the characteristics of a sample to be inspected.

【LEGENDS】

- A...dielectric layer
- D...conductive layer
- C...contact hole
- 1...electron gun
- 2...condenser lens
- 3...objective lens
- 4...sample
- 5X,5Y...deflection coils
- 6...stage drive mechanism
- 7...stage
- 8,9...lens control circuits
- 10...deflection control circuit
- 11,12,13,14...D/A converters

15...control unit

16...current amplifier

17...A/D converter

18A, 18B...memories

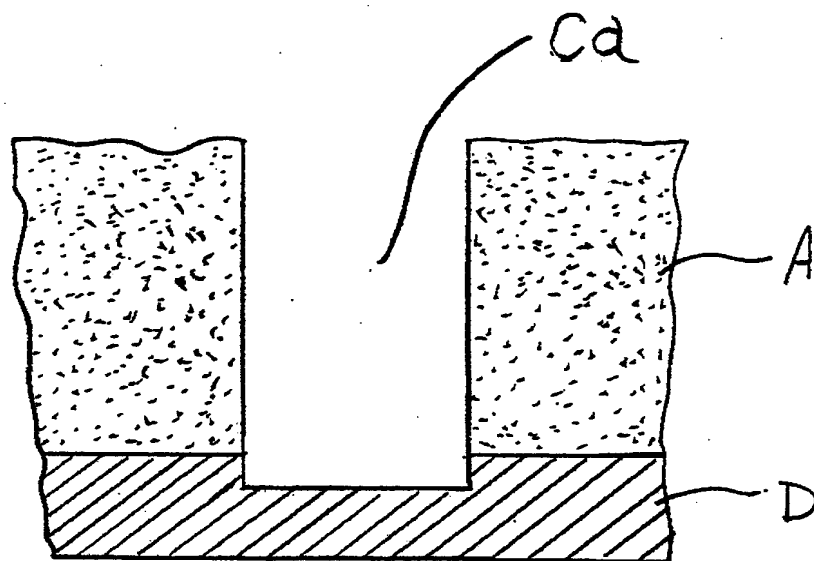
19...cathode-ray tube

【NAME OF DOCUMENT】

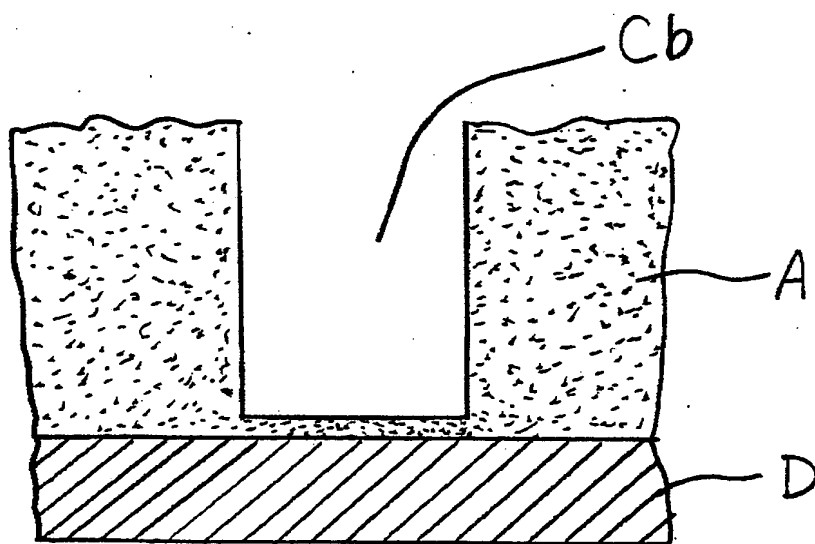
Drawing

【Figure 1】

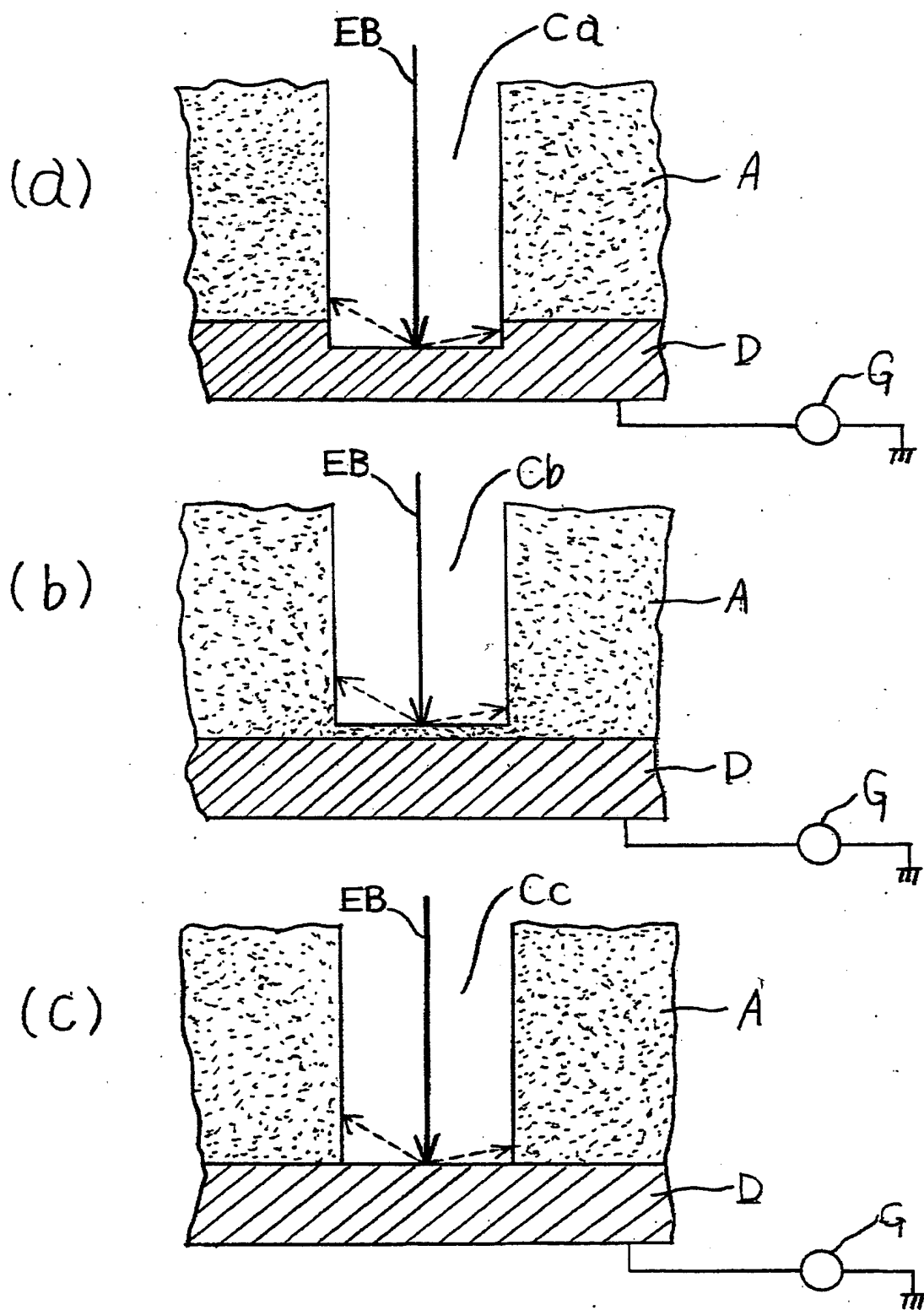
(d)



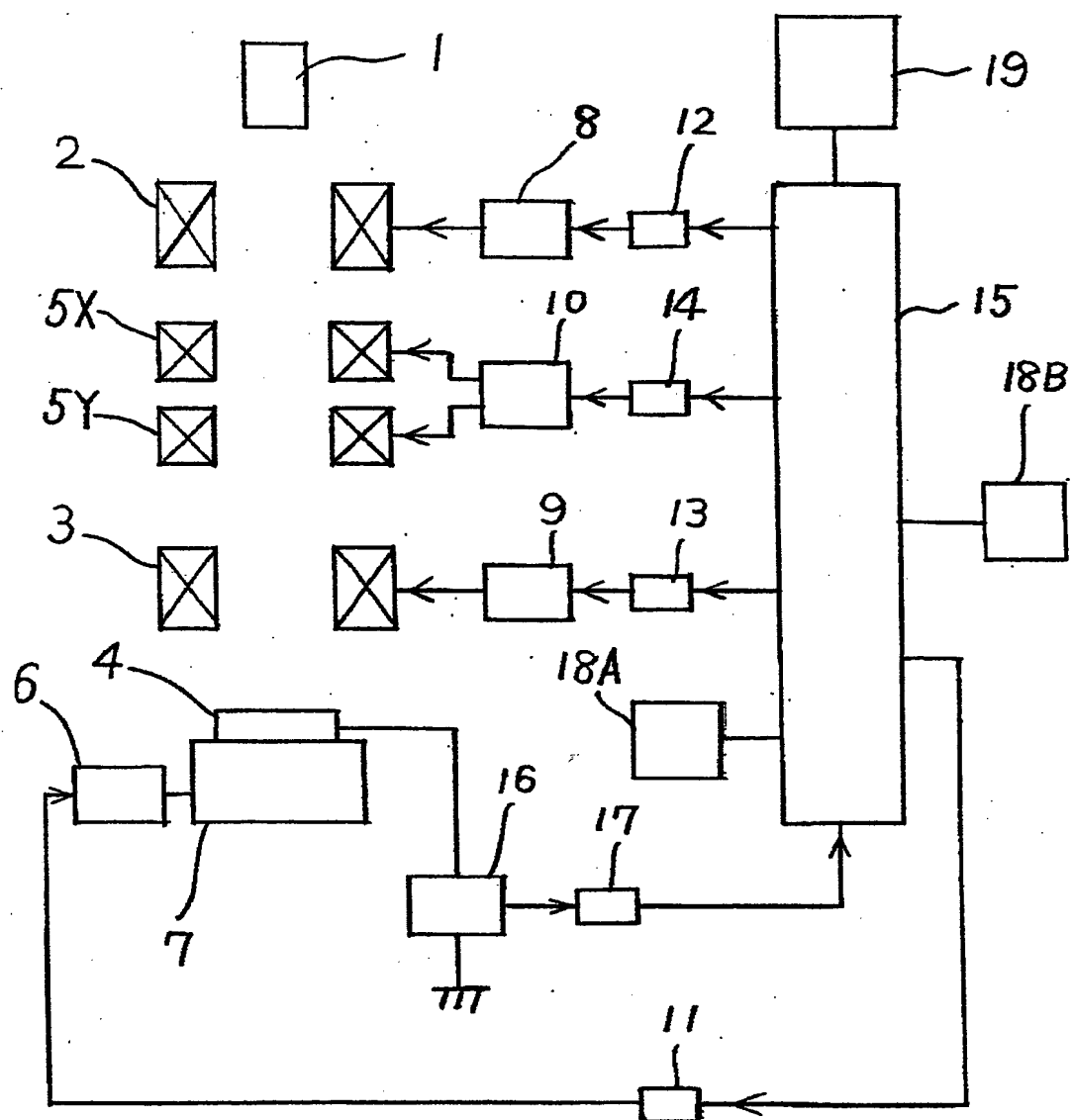
(b)



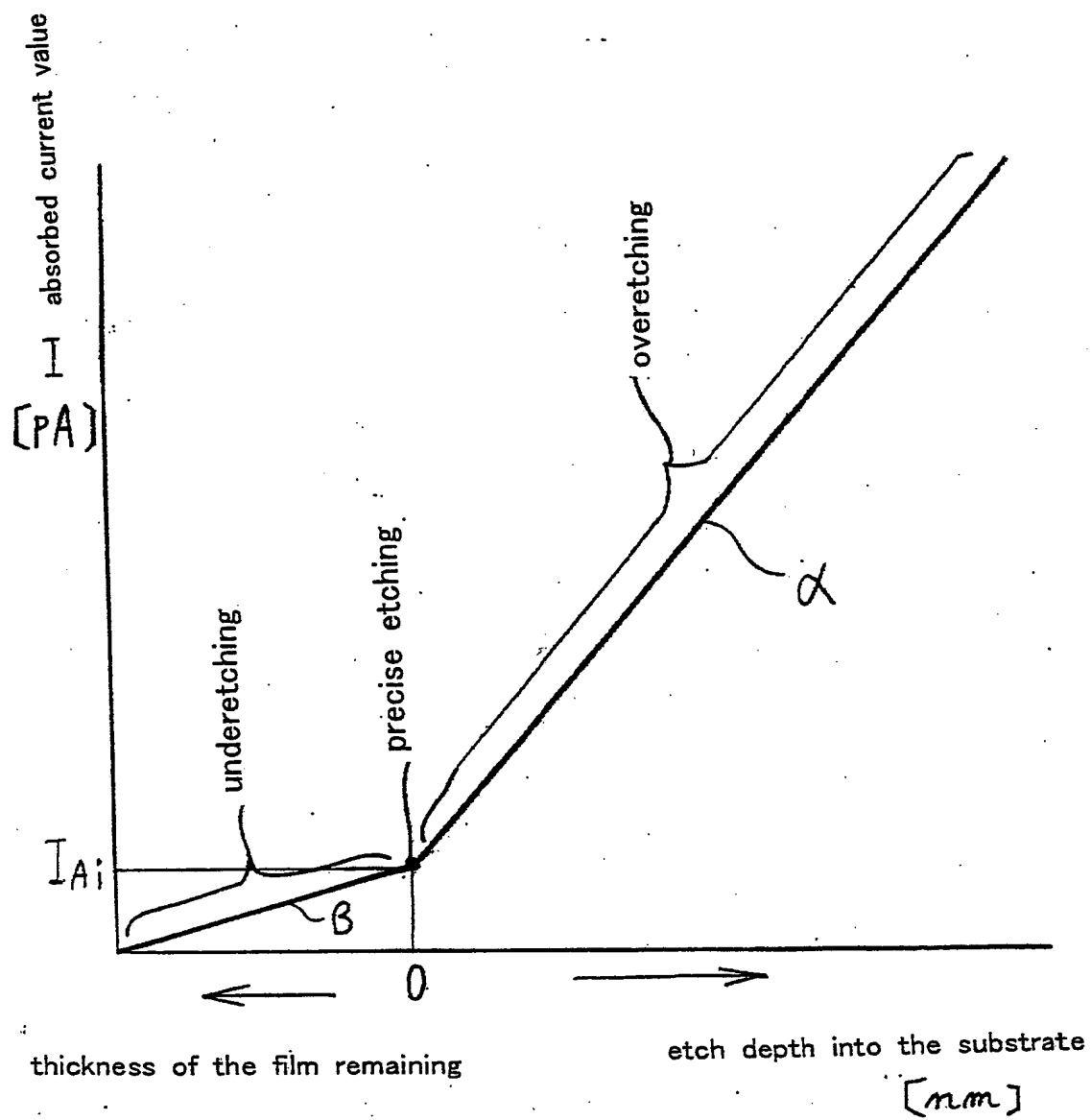
[Figure 2]



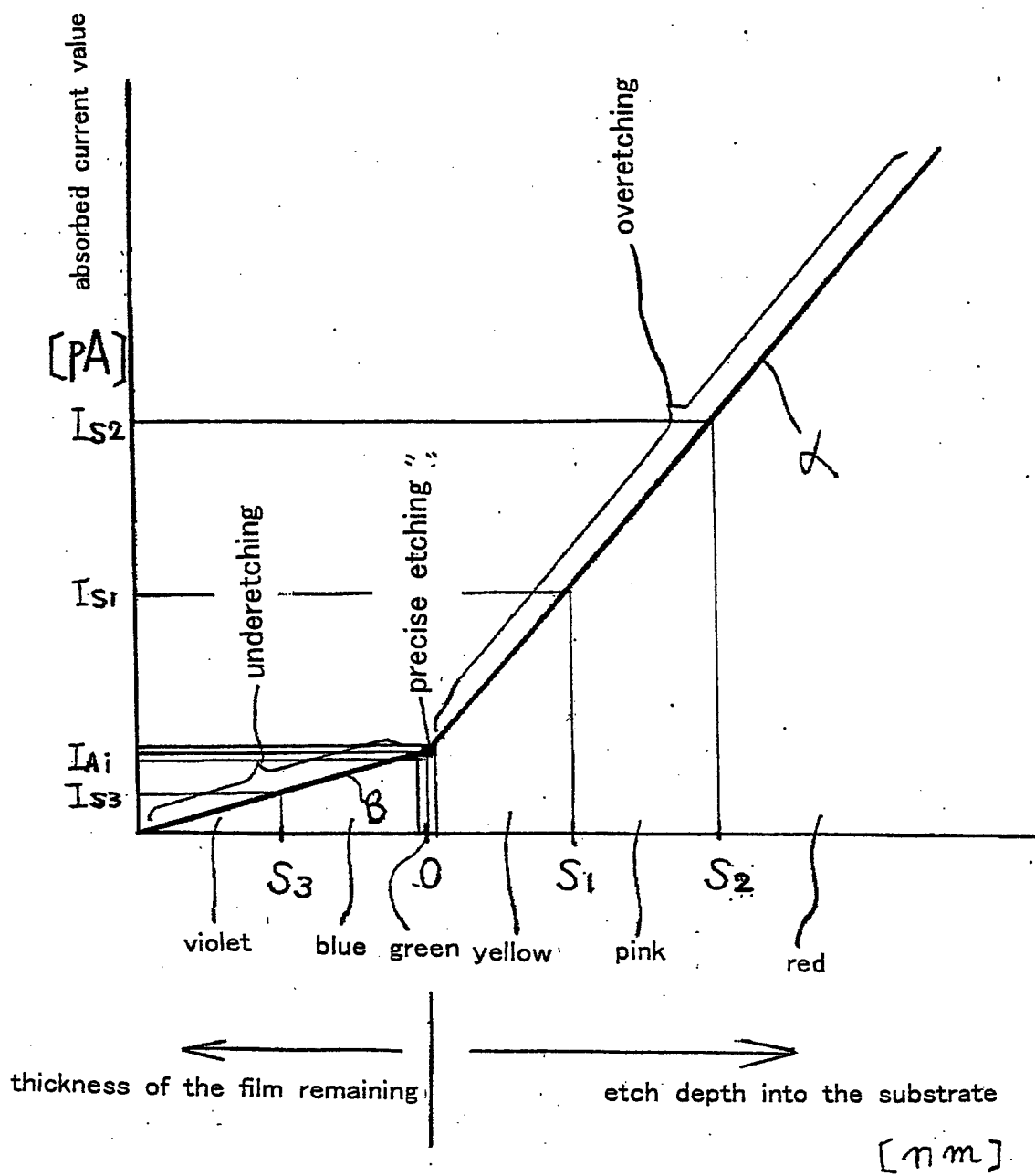
【Figure 3】



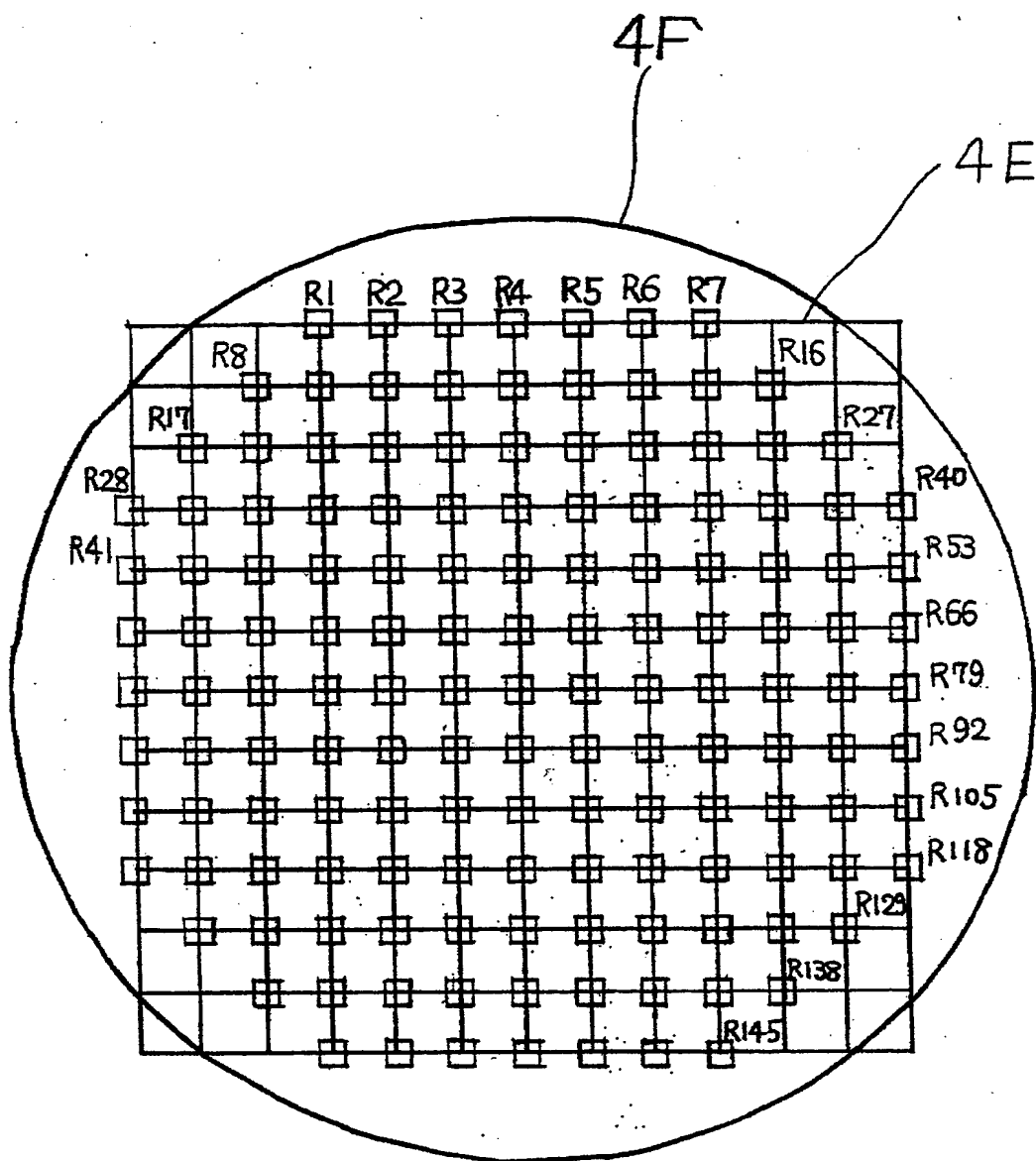
【Figure 4】



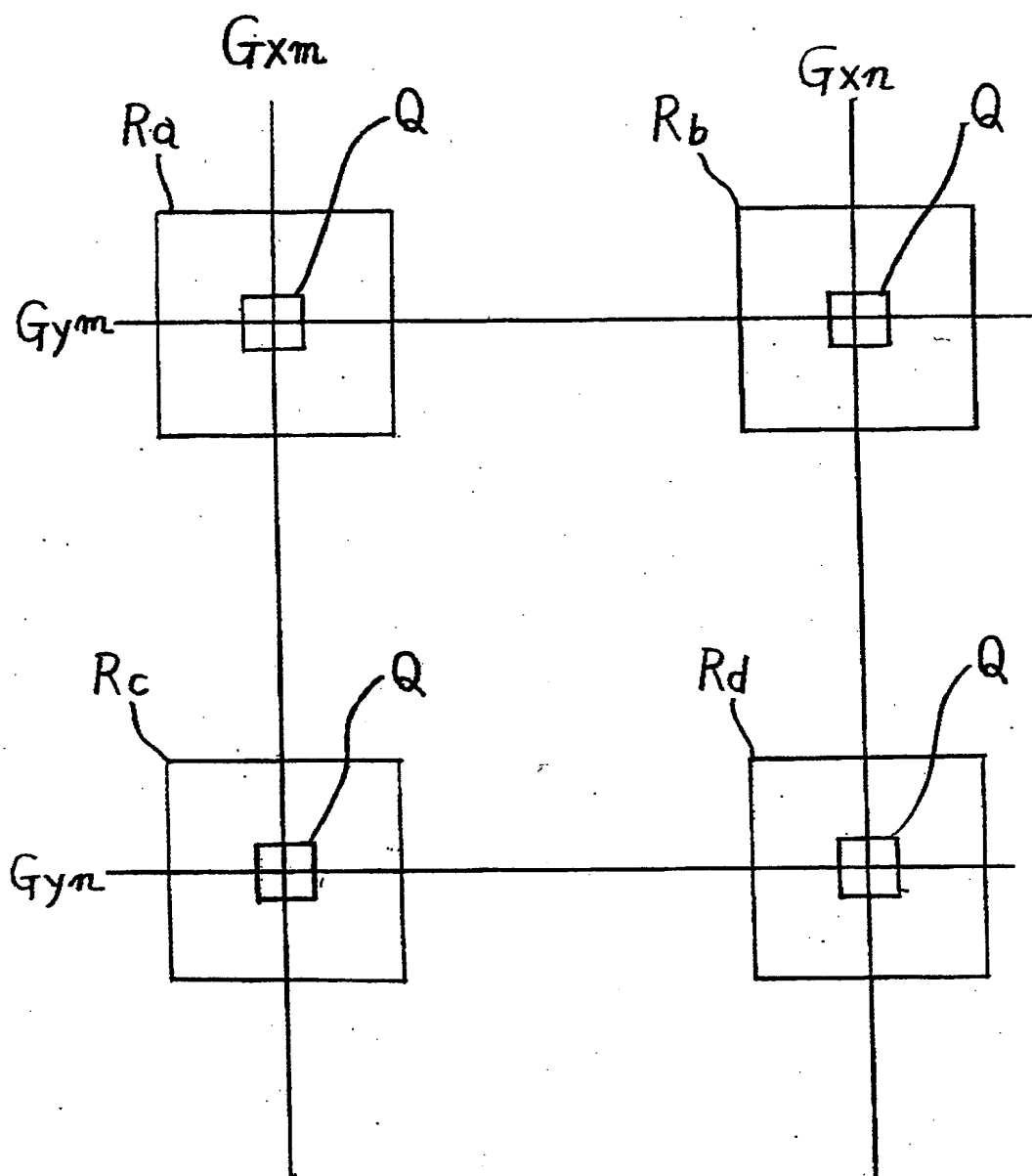
【Figure 5】



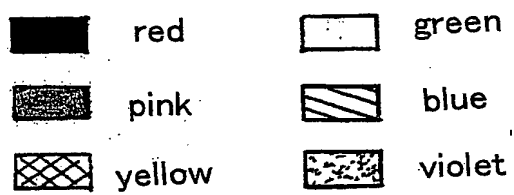
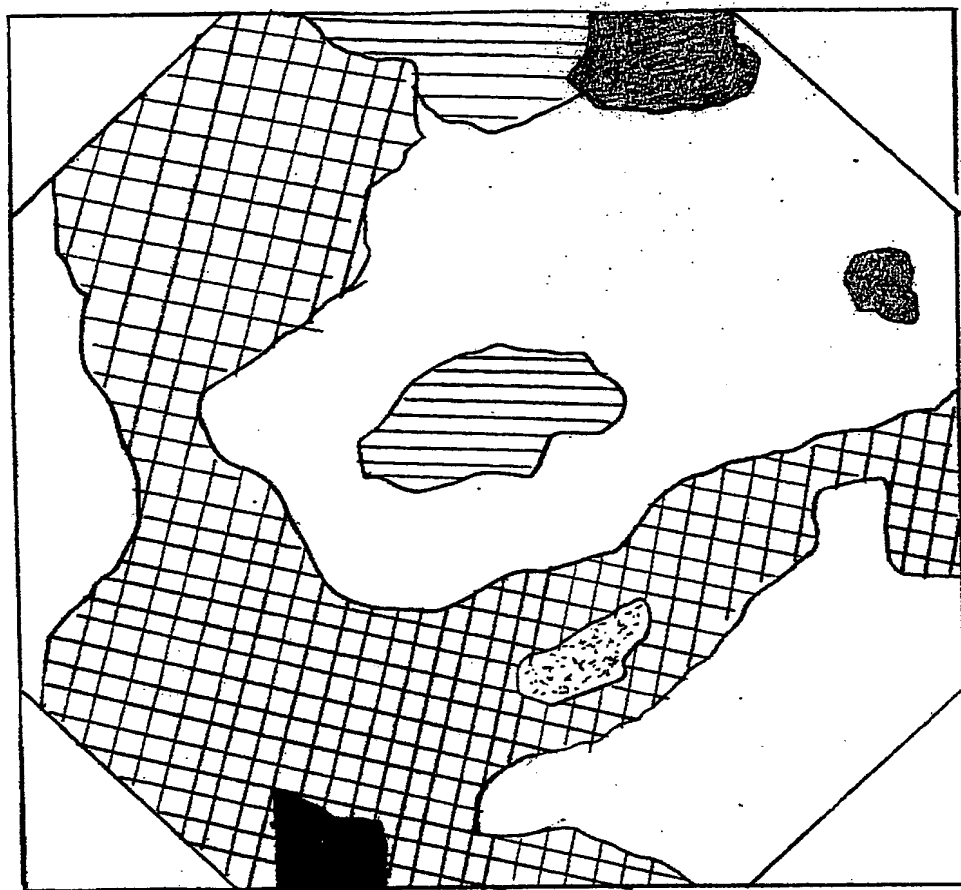
【Figure 6】



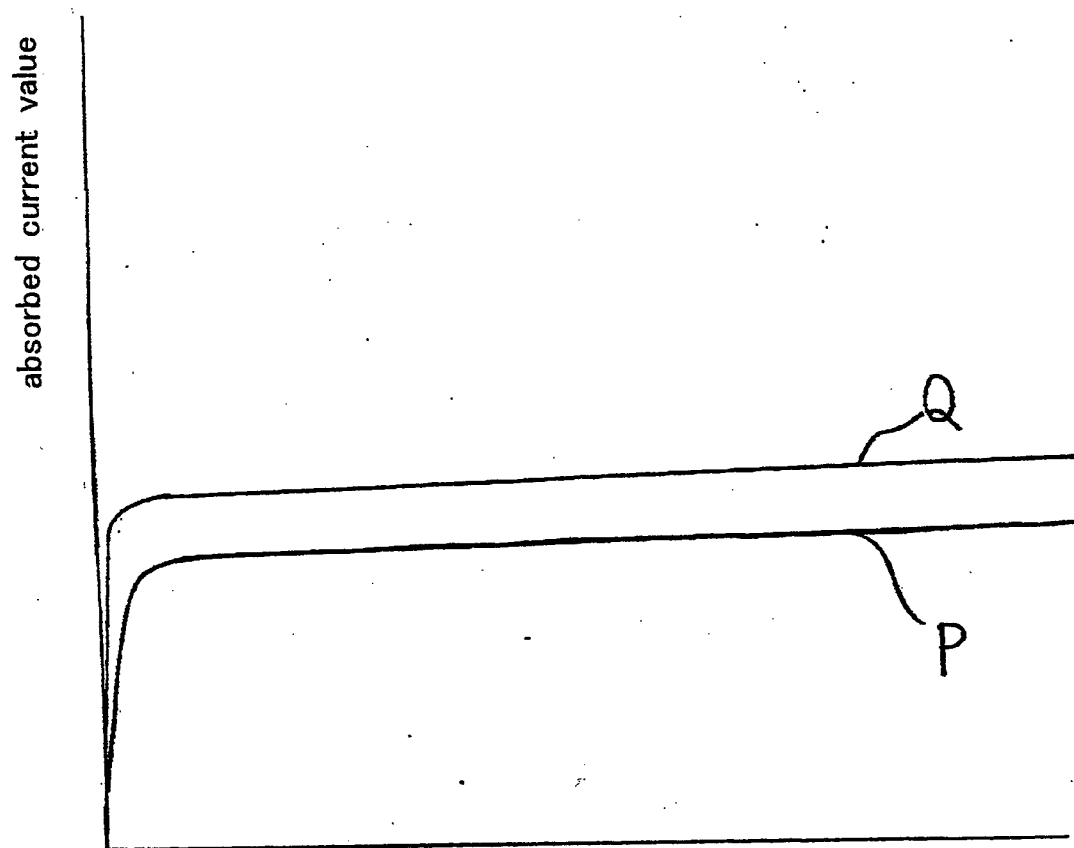
【Figure 7】



【Figure 8】



[Figure 9]



【NAME OF DOCUMENT】 Abstract

【SUMMARY】

【OBJECT】 This disclosure is directed to a method of inspecting how contact holes or via holes are formed in a sample such as a wafer.

【CONFIGURATION】 An electron beam is directed to the contact holes in succession. An absorbed current flowing through the sample 4 is detected by a current amplifier 16. Data about the obtained absorbed current is stored in a memory 18. The electric current flowing through a reference sample and ground is measured, and the relation of the current to the etch depths of contact holes into the substrate is previously found. A control unit 15 compares data about the measured current with the previously found relation and determines the depths of holes of interest into the substrate (i.e., inspects how they are etched).

【SELECTED FIGURE】 Fig. 3

Information Recognized or Added

Application Number Patent Application Serial No. 2001-021615
Receipt Number 50100126929
Name of Document Application for Patent
Person in charge fifth senior person in charge 0094
Date of drawing up January 31, 2001

<Information Recognized or Added>

【Date of production】 January 30, 2001

INFORMATION OF APPLICANT'S PASTRECORD

Identification Number [000004271]

1. Date of Change August 7, 1990

 [Reason for the change] new registration

 Address 1-2, Musashino 3-chome, Akishima,
 Tokyo

 Name JEOL Ltd.